



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 박사학위논문

가구부문의 에너지 소비요인과
이산화탄소 배출구조 분석

2013년 8월

서울대학교 대학원

환경계획학과

노 승 철






가구부문의 에너지 소비요인과 이산화탄소 배출구조 분석

지도교수 이 희 연

이 논문을 도시계획학 박사 학위논문으로 제출함
2013년 4월

서울대학교 대학원
환경계획학과
노 승 철

노승철의 박사 학위논문을 인준함
2013년 7월

위원장	최 악 중	(인) 
부위원장	김 경 민	(인) 
위원	반 영 운	(인) 
위원	이 성 준	(인) 
위원	이 희 연	(인) 

국문초록

인간이 배출하는 온실가스의 대부분이 우리가 사용하는 에너지를 생산하는 과정에서 배출된다는 사실이 인식되면서 에너지 소비감소를 위한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 특히 재화와 서비스의 최종 소비자로서 직·간접적으로 다른 에너지 소비부문에 미치는 영향이 크면서 에너지 소비 감소효과가 빠른 가구의 에너지 소비에 대한 관심이 높아지고 있다.

이와 같은 맥락에서 본 연구는 가구부문의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들을 도출하고, 에너지 소비요인들이 가구의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 이산화탄소 배출구조를 분석하는데 목적을 두었다. 이를 위해 먼저 이론 및 선행연구 고찰을 통해 가구의 에너지 소비요인을 도출하였다. 다음으로 국내 에너지 소비자료를 이용하여 도시 가구부문의 에너지 원별(석유·도시가스, 전력, 자가용) 소비에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 그리고 에너지 소비요인들이 이산화탄소 배출에 미치는 가구부문의 이산화탄소 배출구조를 설정하고 국내 81개 도시를 대상으로 PLS-구조방정식모형을 이용하여 실증 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가구, 주택, 교통기반시설, 자가용 이용, 도시유형, 도시특성 등 6개 에너지 소비요인들은 가구부문의 에너지 소비와 에너지원에 영향을 미침으로써 이산화탄소 배출에 직·간접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 주택 특성(신규주택·아파트), 가구특성(고소득·젊은층·2인이상 가구)은 모두 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출을 감소시키는 것으로 나타났다. 주택 특성은 탄소 배출량이 적은 도시가스 비중을 증가시킴으로써 이산화탄소 배출량을 줄이는 간접효과도 함께 나타나서 석유·도시가스 소비가 주택의 물리적 특성에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있으며, 가구 특성은 가구부문의 전력소비에 가장 영향을 크게 미치는 요인으로 나타났다. 한편 가구의 자가용 이용 특성(자가용 보유와 이용)은 가구부문의 자가용 에너지 소비를 증가시키는 요인이며, 이와 반대로 대중교통 보급수준은 자가용 에너지 소비를 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다.

에너지 소비요인 중 도시유형(수도권과 일반시)과 도시특성(인구밀도)은 가구, 주택, 교통기반시설과 같은 에너지 소비요인을 통해 가구부문의 에너지 소비에 간접적인 영향만을 나타냈다. 도시유형은 주택특성, 가구특성을 증가시켜 석유·도시가스 소비량은 감소시키지만 전력은 증가시키는 것으로 나타나 도시의 입지 및 사회·경제적 특성이 가구부문의 에너지원별 소비량에 유의한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 도시특성은 도시의 대중교통보급수준을 증가시켜 가구부문의 자가용에너지 소비를 감소시키는 것으로 나타나 압축도시가 교통에너지 소비를 줄이는 도시형태임을 보였다.

이산화탄소 배출구조 분석결과 에너지 소비요인들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향이 에너지원별로 다른 것으로 나타났다. 때로는 각 에너지원에 미치는 영향력이 상충되어 에너지 소비요인이 이산화탄소 배출에 미치는 총체적 영향을 파악하는 것이 매우 어려움을 보여주었다. 에너지 소비요인 중 가구특성과 도시유형은 모두 석유·도시가스에 의한 이산화탄소 배출은 줄이지만 전력과 자가용에 의한 배출량은 증가시키는 효과를 보였다. 두 특성 모두 증가효과에 비해 감소효과가 크기 때문에 결과적으로 가구부문의 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것으로 나타났으나 이와 같은 결과는 두 특성의 사회적 변화들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 예측하기 매우 어렵다는 것을 보여준다.

또한 이산화탄소 배출구조를 통해 에너지 소비요인들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 간접적인 영향을 미치는 경로를 분석하였다. 특히 도시특성들이 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 간접영향의 경로와 크기를 분석하는 것은 저탄소 도시계획을 수립하는데 있어서 매우 중요하다. 그동안 연구에 따라 도시의 형태, 밀도, 공간구조와 같은 도시특성들이 가구부문의 이산화탄소 배출량에 미치는 영향이 다르게 나타난 것은 간접적인 영향에 대한 연구가 부족했기 때문이라고 볼 수 있다. 도시특성들은 가구, 주택, 기반시설 등을 통해 가구부문의 이산화탄소 배출에 영향을 미치기 때문에 인구의 사회·경제적 구성과 주택유형, 교통기반시설 여건에 따라 도시특성이 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미

치는 영향을 다르게 나타낼 수 있다. 따라서 가구부문의 이산화탄소 배출요인을 도출하고 각 요인들의 영향력을 분석하기 위해서는 가구, 주택은 물론 도시의 사회·물리적 특성을 고려한 구조적이면서 통합적인 분석이 필요하다.

본 연구는 가구의 에너지 소비를 주거에너지와 자가용 에너지 소비를 통합함으로써 그동안 주택 내 에너지 소비로 한정되어 오던 가구부문의 에너지 소비에 대한 관점을 확장했다는 데 의의가 있다. 또한 에너지 소비요인들이 에너지 소비에 미치는 영향을 에너지원별로 분석함으로써 가구부문의 이산화탄소 배출에 대한 세분화된 정보를 제공하였다. 이와 더불어 다양한 요인들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하기 위한 방법으로 PLS-구조방정식을 소개하고 국내 자료를 이용해 그 유용성을 검증했다는 점에서 선행연구와의 차별성 및 학문적 의의를 갖고 있다.

국내 도시 가구부문의 이산화탄소 배출구조 분석을 통해 본 연구는 다음과 같은 정책적 시사점을 도출하였다.

첫째, 가구부문의 이산화탄소 배출량 감소를 위해서는 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위한 노후주택을 개량하는 공공의 노력이 필요하다. 주택의 물리적 성능개선은 열효율 개선과 도시가스 보급을 통해 효율적인 이산화탄소 배출량 감소효과를 갖고 있다. 그러나 노후 주택은 저소득층이 생활할 가능성이 높기 때문에 저소득층의 노후주택 개량을 위한 공공의 노력이 필요할 것으로 보인다.

둘째, 지역의 인구 및 가구특성을 고려한 지역 맞춤형 이산화탄소 배출 감소 정책을 수립해야한다. 소득, 연령, 가구규모 등 가구의 사회·경제적 특성은 가구부문의 모든 에너지원별 소비에 직·간접 영향을 미친다. 따라서 효율적인 이산화탄소 배출량 감소를 위해서는 주택 및 기반시설의 개선과 더불어 인구와 가구특성을 고려한 계획이 수립되어야한다.

셋째, 저탄소 도시계획을 위해 도시형태, 입지, 공간구조 등 도시 특성과 도시 구성요소를 함께 고려해야한다. 도시특성의 변화는 가구, 주택, 도로와 같은 요인들을 통해 가구부문의 에너지 소비에 간접적인 영향을

미치기 때문에 이산화탄소를 감소를 위한 도시계획은 이와 같은 중간단계를 고려한 구조적이고 통합적인 접근방법이 필요하다.

주요어 : 가구부문, 에너지 소비요인, 이산화탄소 배출구조, 구조방정식,
부분최소제곱

학 번 : 2009-31162

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	2
제 2 절 연구 범위 및 방법	3
1. 연구 범위 및 자료	3
2. 연구 방법	4
3. 연구 내용	5
제 2 장 이론 및 선행연구 고찰	8
제 1 절 에너지 소비행태에 관한 이론 고찰	8
1. 에너지 소비의 의사결정요인	9
2. 사회적 에너지 소비와 집단적 소비패턴	12
3. 에너지 소비행태에 대한 접근방법 비교	15
제 2 절 선행연구 고찰	18
1. 가구의 사회·경제적 속성과 생활양식	19
2. 에너지 소비에 영향을 미치는 환경 요인	23
제 3 절 소 결	34
제 3 장 가구부문의 이산화탄소 배출요인 분석	37
제 1 절 이산화탄소 배출량 산출을 위한 자료 및 방법	37
1. 자료의 선정	37
2. 이산화탄소 배출량 산출 방법	40
제 2 절 가구부문의 이산화탄소 배출 현황 및 차이	44
1. 에너지원별 이산화탄소 배출량 차이	44
2. 도시 유형별 이산화탄소 배출량 차이	48
제 3 절 이산화탄소 배출요인 분석	50
1. 가구의 사회·경제적 특성	51
2. 주택 특성	55

3. 교통 기반시설	58
4. 도시 밀도	61
제 4 절 소 결	63
제 4 장 가구부문의 이산화탄소 배출구조 분석	65
제 1 절 분석 모형	65
1. 이산화탄소 배출구조 설정	65
2. 변수 선정	70
제 2 절 분석 방법	72
1. 분석 방법 선정	72
2. PLS-SEM의 구성과 평가 방법	74
제 3 절 모형의 추정결과 및 해석	80
1. 모형의 적합도 및 설명력	80
2. 잠재변수의 해석	84
3. 에너지 소비요인들의 직·간접적 영향력 분석	86
4. 에너지 소비요인들 간의 영향력 비교	94
5. 이산화탄소 배출량 증감 예측	95
제 4 절 소 결	100
제 5 장 결론 및 시사점	103
제 1 절 요약 및 결론	103
제 2 절 정책적 시사점	107
참고문헌	109
부 록	123

<표 차례>

[표 2-1] 에너지 소비행태에 대한 접근방법 비교	16
[표 2-2] 국내·외 선행연구에서 나타난 주거에너지 소비에 영향을 미치는 요인 ..	27
[표 2-3] 국내·외 선행연구에서 나타난 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인 ..	33
[표 3-1] 국내 에너지 소비 자료 현황	38
[표 3-2] 자가용 연비별 에너지 소비량 비교	43
[표 3-3] 에너지원별 소비자료와 에너지총조사 결과 비교	43
[표 3-4] 도시 가구부문 에너지원별 1인당 이산화탄소 배출량 차이	45
[표 3-5] 도시 가구부문 1인당 CO ₂ 배출량 상위 십분위	47
[표 3-6] 수도권과 비수도권 도시 간 평균 1인당 CO ₂ 배출량 비교	49
[표 3-7] 일반시와 도농통합시 간 평균 1인당 CO ₂ 배출량 비교	50
[표 3-8] 81개 도시 간 가구특성의 변이	52
[표 3-9] 81개 도시 간 주택특성의 변이	56
[표 3-10] 81개 도시 간 자가용 이용과 교통기반 시설의 변이	59
[표 3-11] 81개 도시 간 순인구밀도의 변이	62
[표 4-1] 가구부문의 이산화탄소 배출구조모형에 투입된 변수들과 예상부호	72
[표 4-2] PLS-SEM과 CB-SEM 간 장·단점 비교	73
[표 4-3] 조형지표를 이용한 PLS-SEM의 모형 평가 기준	78
[표 4-4] 가구부문의 이산화탄소 배출구조 모형에서 잠재변수들 간의 상관관계 ..	82
[표 4-5] 가구부문의 에너지원별 소비량에 대한 설명력과 예측력	83
[표 4-6] 측정지표 가중치 산출 결과	84
[표 4-7] 에너지 소비요인들이 에너지원별 소비에 미치는 직·간접적 영향력 비교 ..	93
[표 4-8] 에너지원별 이산화탄소 배출량에 대한 효과지수	94
[표 4-9] 에너지 소비요인들이 이산화탄소 배출량에 미치는 총효과 비교	97
[표 4-10] 측정지표별 이산화탄소 배출량 증감 예측결과	99

<그림 차례>

[그림 1-1] 연구 흐름도	7
[그림 2-1] 에너지 소비행태에 대한 접근방법 간 관계	18
[그림 3-1] 도시 가구부문 주거와 자가용 1인당 CO ₂ 배출량 비교	46
[그림 3-2] 도시별 1인당 CO ₂ 배출량 분포	47
[그림 3-3] 가구특성과 주거·자가용 에너지 소비에 따른 CO ₂ 배출량과의 관계 ..	54
[그림 3-4] 주택특성과 주거부문의 에너지 소비에 따른 CO ₂ 배출량과의 관계 ..	57
[그림 3-5] 자가용이용 및 교통기반시설특성과 자가용에너지 소비에 따른 CO ₂ 배출량 관계	60
[그림 3-6] 순인구밀도와 주거·교통부문에서의 1인당 CO ₂ 배출량과의 관계	62
[그림 4-1] 가구부문 이산화탄소 배출구조 모형 설정	65
[그림 4-2] PLS-SEM의 계수 추정 과정	76
[그림 4-3] 가구부문의 이산화탄소 배출구조 모형의 추정결과	81
[그림 4-4] 측정지표가 CO ₂ 배출량에 미치는 영향력 크기 예시	97

<부 록>

[부록 1] 석유환산 계수 및 탄소배출 계수	123
[부록 2] 에너지총조사 자료의 자가용 연비 산출 과정	124
[부록 3] 수도권과 비수도권 도시 간 도시특성 비교	124
[부록 4] 시·도별 도농통합시 현황	125
[부록 5] 일반시와 도농통합시 도시 간 도시특성 비교	125
[부록 6] 에너지 소비요인 변수의 산출식 및 자료 출처	126
[부록 7] 도시 밀도의 측정 지표 간 상관관계	126
[부록 8] 에너지 소비요인 간 상관관계	127
[부록 9] 주거에너지 소비지표 및 소비요인	128
[부록 10] 주거에너지 소비지표 및 소비요인(계속)	129
[부록 11] 자가용에너지 소비지표 및 소비요인	130
[부록 12] 자가용에너지 소비지표 및 소비요인(계속)	131

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

우리가 배출하는 온실가스의 대부분이 에너지를 생산하는 과정에서 배출된다는 사실이 인식되면서(에너지관리공단, 2011; IEA, 2011) 에너지 소비를 줄여야한다는 목소리가 더욱 높아지면서 가구에서 소비하는 에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 왜냐하면 산업·상업 등의 에너지 소비 부문들이 산업 간 연관관계로 인해 에너지 소비 감소를 위해 장기적 투자가 필요한 반면 가구의 에너지 소비는 다른 부문에 영향을 덜 주면서 소비 절감 효과가 빠르게 나타나기 때문이다(Ironmonger et al., 1995). 또한 가구가 냉난방·취사·자가용 등 주택 내외에서 소비하는 에너지가 우리나라 총에너지 소비의 약 1/4을 차지하고(지식경제부, 2011) 소비량도 꾸준히 증가하고 있기 때문에 국내 이산화탄소 배출량 감소를 위해서 가구의 에너지 소비를 줄일 수 있는 노력이 필요한 시점이다.

가구에서 에너지 소비로 인해 배출되는 이산화탄소를 줄이기 위해서는 에너지 소비량을 줄이거나 에너지원을 저탄소 에너지로 전환해야한다. 그러나 꾸준한 신재생에너지의 개발과 보급에도 불구하고 아직 신재생 에너지가 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중이 작고, 증가속도도 느리다(에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 2011). 결국 이산화탄소 배출량 감소를 위해서는 에너지 소비량을 줄여야 한다. 에너지 소비 감소를 위한 첫 번째 방법은 에너지 고효율 기술을 개발·보급함으로써 현재와 같은 소비수준에서도 에너지 소비량을 줄이는 것이다. 그러나 지금까지 에너지 고효율 제품의 보급을 통한 에너지 소비감소도 기대만큼의 효과를 보이지 못하였다. 이는 에너지 효율 증가속도에 비해 소득증가와 인구성장에 따른 에너지 소비의 증가속도가 더 빠르고(이성근·이성인, 2008), 또한 에너지 고효율기

술을 수용하고 사용하는 사람들의 소비 행태가 기대와는 다르기 때문이다 (Greening, et al., 2000; Herring, 2006; Saunders et al., 2013; Yu et al., 2013).

따라서 에너지 소비량을 줄이기 위해서는 기술 개발을 통해 우리가 사용하는 주택과 자가용 등의 에너지 효율개선과 더불어 사람들의 에너지 소비행태를 함께 고려해야한다(Janda, 2011; Kriström, 2008). 또한 가구의 에너지 소비행태는 마을, 도시, 지역 등 거주 지역에 따라 다르기 때문에 가구의 에너지 소비 특성을 이해하기 위해서는 지역의 경제·사회·물리적 환경들도 함께 고려해야한다(Hitchcock, 1993; Lutzenhisser, 1992). 그동안 가구의 에너지 소비행태에 관한 많은 국내·외 연구들의 정책적 실용성이 부족한 이유는 가구의 에너지를 개인의 의사결정과정으로 한정시킴으로써 주변 환경이 가구의 에너지 소비에 미치는 영향에 대한 고려가 미흡했기 때문이다(Jiang and Hardee, 2011). 따라서 가구의 에너지 소비와 그로 인해 배출되는 이산화탄소를 감소시키기 위해서는 가구의 에너지 소비에 영향을 주는 요인들을 개인, 가구, 주택, 도시 등 다양한 수준에서 도출하고 각 요인들이 가구의 이산화탄소 배출에 미치는 영향에 대한 연구가 필요한 시점이다.

2. 연구의 목적

본 연구는 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 다양한 요인들을 도출하고, 각 요인들이 가구의 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 구조를 분석하는데 목적이 있으며 다음과 같은 연구 질문에서 출발하였다.

첫째, 동일한 지역에 사는 가구 간 에너지 소비와 이산화탄소 배출 차이에 영향을 미치는 요인은 무엇인가? 이는 같은 사회·물리적 환경 하에서 에너지 소비와 이산화탄소에 영향을 미치는 소득, 연령, 교육수준, 가구 규모 등 가구의 인구·사회·경제적 특성을 도출하는 것이다.

둘째, 서로 다른 지역에 거주하는 인구·사회·경제적으로 유사한 가구 간 에너지 소비와 이산화탄소 배출 차이에 영향을 미치는 요인은 무엇인가?

이는 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 주택, 자동차, 도로 등과 같은 환경요인들을 의미한다.

셋째, 다양한 요인들은 어떠한 과정을 통해 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치게 되는가? 세 번째 질문은 가구의 사회·경제적 특성과 환경요인들이 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 구조 또는 메커니즘(mechanism)에 관한 연구의 필요성을 나타낸다.

본 연구는 가구의 에너지 소비요인과 이산화탄소 배출구조 분석을 위해 다음과 같은 세부목적을 갖고 있다.

첫째, 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 가구, 주택, 도시 등 다양한 수준과 경제, 사회 등 여러 측면에서 다양한 요인을 도출한다.

둘째, 다양한 에너지 소비요인들이 가구의 이산화탄소 배출에 미치는 이산화탄소 배출구조를 설정한다. 각 요인들은 상호 영향을 주고받으며 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 직·간접적 영향을 분석하기 위해 요인들 간 관계를 설정하고, 그 영향을 분석할 수 있는 구조의 설정이 필요하다.

셋째, 우리나라 가구부문의 에너지 소비 자료를 이용하여 다양한 요인들이 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 구조를 실증 분석함으로써 가구의 이산화탄소 배출을 줄일 수 있는 정책적 시사점을 제시한다.

제 2 절 연구 범위 및 방법

1. 연구 범위 및 자료

본 연구는 가구의 에너지 소비 중 일상 활동에 의해 직접적으로 소비되는 이른바 직접소비 에너지만을 대상으로 하였다. 가구의 에너지 소비는 직접소비 에너지와 간접소비 에너지로 구분할 수 있으며, 직접소비 에너지는 이른바 최종소비 에너지로써 건물 내 냉난방, 취사, 조명, 자동차 이용

에 따라 소비되는 에너지를 가리킨다. 이에 반해 간접소비 에너지는 가구가 소비하는 상품을 만들기 위해 투입되는 에너지로 각종 재화와 서비스의 생산을 위해 소비되는 에너지를 가리킨다.

직접소비 에너지는 크게 주택 내에서 소비되는 주거에너지와 자가용을 이용한 에너지로 나눌 수 있다. 주거에너지는 냉난방, 취사, 온수, 조명 등 주택 내에서 사용되는 에너지를 말하며, 자가용에 의한 에너지는 주로 통근·통학, 쇼핑 등 이동을 위해 소비되는 에너지이다. 가구의 직접소비 에너지는 우리나라 총에너지 소비량의 약 1/4를 차지하고 있으며(지식경제부, 2011), 그로 인해 발생하는 이산화탄소는 건물과 교통에너지에서 발생하는 이산화탄소 의 약 1/2에 해당하는 등(지식경제부·에너지관리공단, 2010) 매우 큰 비중을 차지하고 있다.

주거와 자가용에너지 소비는 소비 공간이 주택 내외로 구분되었기 때문에 그동안 서로 다른 분야에서 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 두 에너지가 모두 가구의 일상 활동에 의해 직접적으로 소비된다는 점에서 두 부문은 통합하여 분석할 필요가 있다. 즉 주택 외부 활동의 증가가 자가용 이용 에너지 소비는 증가시키고 주거에너지 소비의 감소를 이끌기 때문에 한 부문에 대한 분석은 가구의 에너지 소비가 두 부문 간 전이된 것인지 가구의 에너지가 감소한 것인지 파악할 수 없기 때문이다. 이에 본 연구에서는 가구의 직접소비 에너지를 주택 내 주거에너지와 자가용을 이용한 에너지 소비를 합한 에너지로 정의하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 가구의 에너지 소비요인과 이산화탄소 배출구조 분석을 위해 이론 및 선행연구 고찰을 통한 에너지 소비요인 도출, 국내 가구의 이산화탄소 배출요인 분석, 이산화탄소 배출구조의 설정과 분석으로 이루어졌다.

이론 및 선행연구 고찰은 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인들을 도출하고 가구의 이산화탄소 배출구조를 설정 및 분석할 수 있는 분석방법을 고찰하였다.

가구의 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인 분석은 국내 도시 가구 부문의 이산화탄소 배출량과 도시의 사회·경제·물리적 특성 간 관계를 산점도와 상관관계분석을 통해 분석하였다. 가구의 사회·경제적 특성과 환경이 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 가구별 에너지 소비 자료가 필요하지만 자료의 한계로 도시 간 가구부문의 이산화탄소 배출 차이를 분석하였다. 이를 위해 우선 국내 도시의 가구 부문 에너지 소비를 파악할 수 있는 자료들을 탐색하고, 이산화탄소 배출량 산출을 위해 에너지 소비를 용도와 에너지를 고려하여 석유·도시가스, 전력, 자가용 등 세 부문으로 나누어 구축하였다. 도시 간 에너지 소비와 이산화탄소 배출차이는 지역의 인구 규모를 고려하여 1인당 소비(배출)량을 비교 원단위로 하였다. 이는 원단위를 가구로 하는 경우 가구규모가 작아지면 가구의 에너지 소비량은 적어지나 1인당 에너지 소비는 증가하는 것과 같은 가구규모 감소에 의한 에너지 소비변화를 파악할 수 없는 단점이 있기 때문이다.

이산화탄소 배출구조의 설정과 분석은 다양한 에너지 소비요인들이 가구의 에너지 소비와 에너지를 통해 이산화탄소 배출에 미치는 직·간접 영향을 파악하기 위한 가구부문의 이산화탄소 배출구조를 설정하였다. 또한 PLS-구조방정식과 국내 81개 도시 가구 부문의 에너지 소비량 자료를 이용한 분석 결과를 토대로 도시의 다양한 요인들이 가구의 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 산출하였다.

3. 연구 내용

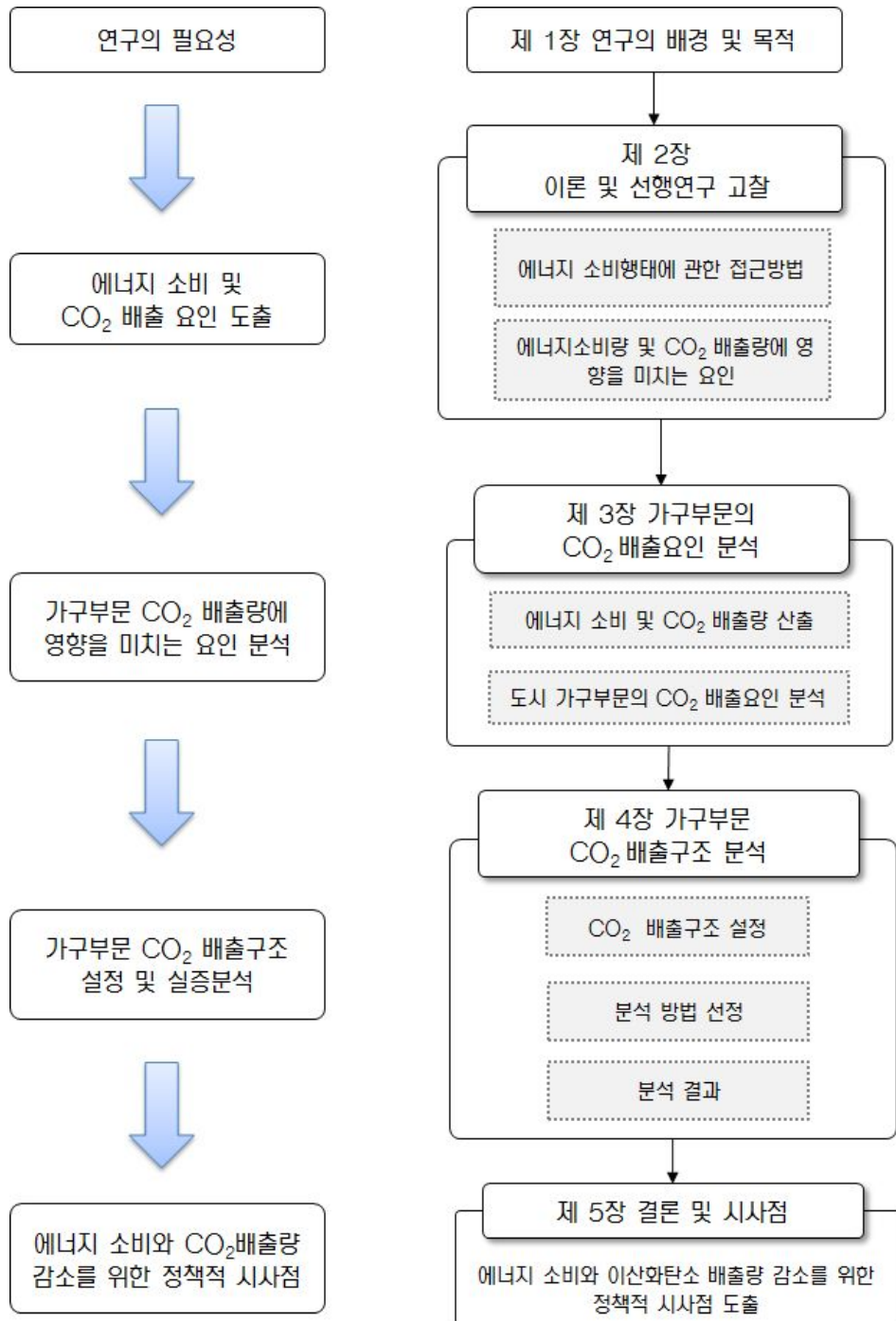
본 연구는 크게 5개의 장으로 이루어져 있으며 연구의 흐름은 [그림 1-1]과 같다. 제1장은 기후변화 시대 이산화탄소 배출감소를 위한 본 연구의 배경과 목적을 제시하였다. 제2장은 개인의 에너지 소비행태에 대한 접근방법의 장·단점을 비교하고, 국내·외 선행연구 고찰을 통해 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

제3장에서는 국내 에너지 소비의 대부분을 차지하고 있는 81개 도시

가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출요인을 분석하였다. 도시는 다양한 사회·경제적 속성을 가진 사람들이 함께 거주하고 있으며, 자연환경보다 인공적으로 조성된 환경을 가지고 있기 때문에, 도시 간 비교는 다양한 가구 특성과 물리적 환경이 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 추론하는데 더 적합하다. 또한 국내 가구 부문의 에너지 소비량 중 90%이상이 도시에서 소비되고 있어(지식경제부, 2011) 도시의 에너지 소비를 줄이는 것이 국내 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출을 위해 중요하다. 도시 가구 부문의 에너지 소비와 그에 따른 이산화탄소 배출량 산출을 위해 가구의 에너지 소비를 용도와 에너지원에 따라 석유·도시가스, 전력, 자가용 이용 에너지로 구분하고 가구부문의 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 그리고 도시 환경이 가구의 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하기 위해 도시 가구부문의 에너지원별 소비량 및 이산화탄소 배출량과 도시 유형별 이산화탄소 배출량 차이를 분석하였다. 또한 이산화탄소 배출량과 관계가 있는 도시 환경 요인을 가구의 사회·경제적 특성, 주택특성, 기반시설, 도시 형태 측면에서 선정하여 각 요인과 에너지원별 이산화탄소 배출량 간 관계를 분석하였다.

제4장은 국내·외 선행연구와 이산화탄소 배출요인 분석결과를 토대로 가구부문 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 선정하고 가구부문 이산화탄소 배출구조를 설정하였다. 이산화탄소 배출구조는 가구의 사회·경제적 특성, 주택의 유형 및 노후도, 교통기반시설과 가구의 자가용 이용 그리고 도시 특성이 에너지원별 소비량과 에너지를 통해 이산화탄소 배출에 미치는 직·간접 영향력을 분석할 수 있는 모형으로 구축하였다. 또한 국내 도시 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출 자료를 이용하여 이산화탄소 배출구조를 실증 분석하였으며 분석결과를 통해 각 요인이 이산화탄소 배출 증감에 미치는 영향을 예측하였다.

마지막으로 제5장은 연구 결과를 종합하여 결론을 정리하였으며, 나아가 도시 가구부문의 에너지 소비와 그로 인해 배출되는 이산화탄소를 줄이기 위한 정책적 시사점을 제시하였다.



[그림 1-1] 연구 흐름도

제 2 장 이론 및 선행연구 고찰

가구에서 소비되는 에너지와 그로 인해 배출되는 이산화탄소에 영향을 미치는 요인은 크게 가구의 사회·경제적 특성과 거주 지역의 환경으로 나누어 볼 수 있다. 소득, 연령, 교육수준 등 가구의 사회·경제적 특성은 가구 간 에너지 소비행태 차이와 밀접한 관련이 있으며, 주택, 도로와 같은 지역 환경은 에너지 소비를 위한 제반 조건으로 볼 수 있다. 가구의 에너지 소비에 관한 초기 연구들은 접근방법에 따라 두 부분 중 한쪽에 초점을 두고 있었으나 최근에는 가구의 사회·경제적 특성과 지역 환경을 통합한 연구들이 증가하고 있다. 본 장에서는 가구의 에너지 소비에 관한 국내·외 연구들의 접근방법 및 연구 결과를 토대로 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

제 1 절 에너지 소비행태에 관한 이론 고찰

에너지 소비행태에 관한 이론들은 에너지 절감 목표를 달성하기 위해 개인의 행동 변화에 영향을 미치는 요인들을 도출하고, 요인들 간 관계를 분석하기 위한 분석 틀/framework)을 제공한다. 에너지 소비행태에 관한 대표적인 접근방법은 크게 경제학, 심리학, 사회학적 접근방법으로 나눌 수 있다(Wilson and Dowlatabadi, 2007). 경제학과 심리학적 관점은 에너지 고효율 기기를 수용하고 사용하려는 개인의 의사결정과정에 관심을 두고 있다. 즉, 개인은 자신이 갖고 있는 경제적, 심리학적 가치(value)를 바탕으로 자신의 행동을 결정하는 것이라고 가정한다. 이에 반해 사회학적 접근방법은 개인보다는 그들이 속해 있는 사회에서 에너지 부문들 간 소비의 차이 또는 패턴에 더 관심을 두고 있다. 따라서 경제학과 심리학적 접근방법은 개인들이 에너지 효율적인 기기의 수용과 사용에 초점을 두고 있는 기기기반(device-oriented) 접근방법으로 볼 수 있으며, 사회학적 접근방법은 사회·문화·기술 그리고 역사적 관점에서 에너지 소비의 차이를

설명하고자 하는 인류학(anthropology) 또는 문화적(cultural) 접근방법이라고 볼 수 있다(Moezzi and Lutzenhiser, 2010). 본 절에서는 에너지 소비행태에 대한 접근방법에 대한 고찰과 장·단점 비교를 통해 개인과 가구의 에너지 소비요인을 도출하였다.

1. 에너지 소비의 의사결정요인

개인 간 에너지 소비가 다른 근본적인 이유는 에너지 소비행태에 차이가 있기 때문이다. 즉 개인은 주어진 조건하에서 자신의 에너지 소비행태를 결정하는데 그 의사결정이 개인마다 다르기 때문에 에너지 소비에 차이가 나타난다. 경제학적 접근방법과 심리학적 접근방법은 이와 같이 에너지 소비행태를 결정하는 의사결정과정에 영향을 미치는 개인적 요인에 초점을 두고 있다.

1) 경제학적 접근방법

경제학적 접근방법은 개인을 주어진 예산 제약 하에서 최대 효용(utility)을 추구하는 합리적 선택자로 가정한다. 이와 같은 효용이론은 합리적 선택의 기준을 제시하는 선호의 원리(axioms of preference)로부터 출발하며, 개인은 모든 선택 대안에 대해 알고 있고 변하지 않는 선호를 갖고 있는 것으로 가정된다(Wilson and Dowlatabadi, 2007). 일례로 가구가 에너지 기술을 받아들이도록 선택을 바꾸려면 고효율 기술이 그들의 돈을 아껴줌으로써 효용을 높여주어야 한다고 이야기한다(Peattie, 2010).

경제학적 접근방법은 개인이 기술을 선택함으로써 얻는 효용을 주로 화폐 가치로 환산하여 나타낸다. 따라서 경제학적 관점의 가장 큰 장점은 숫자, 표식, 수학적 관계를 이용하여 매우 명확한 결과를 보여준다는 것이다. 이와 같은 장점이 그동안 학문과 정책 분야에서 경제학적 접근방법을 가장 많이 사용한 이유이기도 하다(Lutzenhiser et al., 2010).

그러나 고전 경제학적 접근방법이 다른 접근방법에 비해 명확한 논리와 결과를 보여주지만, 시간의 흐름에 따라 선택이 변하거나(inconsistency),

모든 대안에 대해 정확히 알지 못하는 경우(bounded rationality), 기존의 경험에 의존된 선택(reference dependence) 등 가정에 부합하지 않는 개인의 선택을 설명하기에는 부족하다(Lopes et al., 2012). 이러한 한계는 같은 사람이 서로 다른 시기와 장소에서 선택이 바뀔 수 있고, 동일한 조건에서도 개인마다 선택이 다를 수 있음을 의미한다. 이와 같이 고전 경제학적 접근방법에서는 모든 사람들에게 언제나 적용되는 보편적(universal) 선택 기준을 찾지만, 개인마다 가치체계와 대안 선택의 기준이 다르기 때문에 언제나 적용되는 기준을 찾는 것은 매우 어렵다. 고전경제학의 한계를 극복하기 위해 개인 간 가치 체계의 차이를 인정함으로써 개인의 이질성을 고려하지 못한 단점을 보완하는 접근방법으로 행동(behavioral)경제학이 제시되었다. 행동경제학은 개인의 합리적 선택이라는 기초에서 고전 경제학 이론에 개인적 가치, 규범과 같은 심리학적 요인을 가미함으로써 개인별 선택 기준의 차이를 설명하고자 하였으나 아직까지 행동경제학적 접근방법에 따른 에너지 소비 연구는 거의 이루어지지 못하고 있다.

이와 같이 경제학적 접근방법의 경우 모든 개인은 합리적 선택에 의해 기술을 받아들인다고 가정한다. 그러나 현실세계에서 개인이 합리적으로 선택하는 것은 매우 어렵다는 점에서 한계를 갖고 있다. 개인이 합리적 선택을 하지 못하는 가장 큰 장애요인은 개인들이 모든 선택 대안들에 대한 완전한 정보를 갖고 있지 못하며, 선택을 하는 상황에 따라 선택 집합에 제약이 있다는 점이다. 대부분의 사람들은 에너지 고효율 기술의 비용과 이익에 대한 정보량이 적으며, 이러한 정보의 부족으로 사람들은 효용을 정확히 알 수 없고 따라서 그들이 합리적인 선택을 하더라도 경제학적 관점에서의 합리적 선택 결과와는 다르게 된다. 또한 사람들은 자신이 선택할 수 있는 선택 대안의 집합조차 모르고 있는 경우가 있기 때문에 합리적 선택을 하기 어려운 경우가 많다. 더 나아가 경제학적 모델들은 에너지 소비와 경제적 행동이 사회적 상황(situated) 하에 있다는 것을 받아들이지 않고, 이타주의와 문화와 같은 비경제적 요인의 중요성을 배제하고 있다(Lutzenhiser et al., 2010).

2) 심리학적 접근방법

심리학적 접근방법은 개인 간 선택의 차이를 개인이 지닌 가치, 사고방식, 규범과 같은 개인적 심리요소와 선택을 제한하는 외부 요인을 통해 설명함으로써 경제학적 접근방법의 한계를 보완하고 있다.

심리학적 접근방법은 주로 에너지 소비감소를 위해 에너지 효율 격차를 줄이고 사람들의 이타주의적(altruistic) 행동을 이끌어내는데 있다(Lutzenhiser et al., 2010). 심리학적 접근방법에 따르면 개인의 태도와 가치는 사회적 규범과 연관되어 있으며, 지식의 습득에서부터 몇 개의 단계(phases)를 거치면서 행동을 변화시킨다(Lopes et al., 2012). 따라서 개인들에게 에너지 절약에 관해 교육하거나, 근검절약과 같은 사회적 규범 의식 수준을 고취시킨다면, 개인들은 에너지 소비 행동에 대한 인식이 더욱 강화되며 결과적으로 에너지 소비 행태가 변하게 된다(임기추, 2008; 최남숙, 2003). 그러나 인식에서 행동에 이르기까지 몇 단계를 거쳐야 하기 때문에 어느 단계에서 소비행태에 영향을 미치는 교육 전략을 실행하느냐에 따라 행태변화 정도가 다르게 된다.

심리학적 접근방법은 개인의 심리상태에 영향을 미치는 외부 조건에 대한 가정에 따라, 기술 수용을 위한 태도-기반 의사결정 모형(attitude-based decision model)과 사회·환경적 심리학(social and environmental psychology) 접근방법으로 나누어진다(Wilson and Dowlatabadi, 2007). 기술 수용을 위한 태도-기반 의사결정 모형의 경우 사람들이 새로운 기술을 받아들이고 확산시켜 나가는 경로에 초점을 두고 있으며, 특히 개인에게 정보가 유입되는 경로가 기술 확산의 중요한 요인이라고 보고 있다. 따라서 새로운 기술이 더 빨리 보급되기 위해서는 기술 자체가 빠르게 보급될 수 있는 내용을 갖추고 있어야하지만, 기술이 확산되는 통로의 중요성을 강조한다. 사회·환경적 심리학 접근방법의 1970년대 초기 연구들은 주거에너지 소비에 영향을 미치는 정보와 인센티브의 역할에 초점을 두었으나, 1980년대 이후 이루어진 연구들은 오히려 개인적 가치, 태도, 규범과 같은 요인들에 초점을 두고 있다(Wilson and

Dowlatabadi, 2007). 특히 사회·환경적 심리학 접근방법에서는 정보와 금전적 이익이 의사결정에 미치는 영향력의 크기가 개인의 사회·경제적 지위와 집단에 따라 다르다는 점을 부각시켰다. 또한 정보의 통로도 중요하지만, 정보의 질과 정보를 받아들이는 개인의 의사결정 과정을 더 중요한 요인으로 보고 있다(Lopes et al., 2012).

경제학적 접근방법에 비해 심리학적 접근방법은 개인적 이질성의 원인을 심리적 요인과 정보의 전달과정에서 찾고 있다. 이렇게 심리학적 접근방법은 경제학적 접근방법을 보완·확장하였으나 다음과 같은 점에서 한계를 보이고 있다. 첫째, 심리학적 접근방법은 경제학적 접근방법과 마찬가지로 개인적 심리 요인의 변화를 통해 에너지 소비행태를 바꿀 수 있다고 가정한다. 그러나 지금까지 많은 관련 연구들은 심리적 요인과 행동 간 강한 인과관계를 찾는데 실패하였다. 이는 심리적 요인과 행동 간 관계가 없다는 것이 아니다. 다만 개인의 가치, 사고방식, 규범과 같은 심리적 요인을 규명하고, 인과관계를 증명하기가 어렵기 때문이다(오세진 외, 2001). 이와 같이 심리적 요인 규명의 어려움 때문에 많은 심리학적 접근방법의 연구들은 실증분석결과보다는 이론적 틀을 제시하거나 개념적 분석 모형만을 제시하는 한계를 보이고 있다. 둘째, 개인 심리 상태와 의사결정은 순간의 결정요인이며, 개인의 심리 상태에 따라 매우 빠르게 변화한다. 따라서 심리학적 접근방법은 개인의 의사결정에 대한 단기적 변화를 설명하는데 적합한 접근방법으로 개인의 장기적인 행동 변화와 사회적 변화를 설명하기에는 한계가 있다. 결국 개인적 변화가 사회 전체에 미치는 영향을 파악하는 데 한계를 갖고 있기 때문에 지역이나 국가 단위의 에너지 정책수립에 많이 활용되지 못하고 있다.

2. 사회적 에너지 소비와 집단적 소비패턴

경제학적 접근방법과 심리학적 접근방법에서는 개인의 의사결정을 바꿀 수 있는 외부 조건을 조성함으로써 개인의 에너지 소비행태를 바꾸고자 한다. 두 접근방법은 에너지 소비의 주체를 개인으로 보기 때문에 변화도

개인으로부터 시작되어야한다고 보고 있다.

이에 반해 사회학적 접근방법의 경우 가구의 에너지 소비행태란 자신이 살고 있는 지역의 물리적·문화적·역사적 특성이 체화된 것으로 가정한다. 그리고 에너지 소비에 대한 수요(needs), 태도(attitudes), 기대감(expectation)과 같은 심리적 요인들을 사회 규범, 기술, 제도 등과 함께 사회 구조의 한 부분으로 간주한다(Lopes et al., 2012). 따라서 개인의 에너지 소비가 변하기 위해서는 개인의 변화가 아닌 개인이 속한 사회의 구조와 체계를 변화시켜야한다고 여긴다.

따라서 경제학적 접근방법과 심리학적 접근방법이 사람들의 의사결정, 선택, 행동과 같이 미시적인 주제에 초점을 두고 있는데 반해 사회학적 접근방법은 집합적 에너지 소비 패턴을 이해하는데 더 큰 관심을 두고 있다. 특히 사람들의 소비 패턴에는 이미 개인의 의사결정과 지역의 사회, 문화, 제도와 같은 요소들이 함께 내재되어 있기 때문에 유사한 소비패턴을 보이는 집단 간의 소비 차이를 분석함으로써 가구의 에너지 소비요인을 파악할 수 있을 것으로 보고 있다.

Lutzenhiser(1992)가 제안한 가구 에너지 소비의 문화적 모형(the cultural model of household energy consumption)은 지역의 기술수준, 문화, 경제 등 다양한 요인들이 문화로써 개인에게 내재되어있고 사람들은 이 문화에 따라 행동하는데 이 문화를 생활양식(life-style)이라고 정의한다. 문화적 모형은 에너지 소비에 대한 분석·예측은 물론 정책 평가에서도 매우 유용한 방법으로 평가받았지만(Gram-Hassen, 2009; Reusswig, 2010), 모형이 제시된 이후 실증적 연구방법론 개발이 활발하게 이루어지지 못하였다.

가구의 에너지 소비를 이해하는데 사회학적 접근방법은 다른 접근방법과 다른 관점을 제공해준다. 첫째, 개인의 에너지 소비가 다른 것은 한정된 시간과 자원을 분배하는 방식 즉 생활양식이 다르기 때문이다. 예를 들어 업무 시간의 증가는 상업용 빌딩의 에너지 소비증가와 주택 에너지 소비 감소를 함께 의미한다. 이와 같이 생활양식 접근방법은 다른 학문적 관점들과 달리 에너지 소비요인을 소비 활동의 분배를 통해 설명함으로써

에너지 소비 부문 간 상쇄(trade-off)관계를 분석하는 새로운 관점을 제시한다(Schipper et al., 1989).

둘째, 다양한 요인들이 문화로써 개인에게 내재되어 있다는 점은 다른 접근방법과는 매우 다른 관점이다. 사회학적 접근방법에서 개인의 의사결정과 행동은 사회 구조 내에서 오랜 기간 습득되어진 습관적(habitual) 활동으로 간주한다. 따라서 그동안 에너지 소비량을 줄이기 위해 개인에게 적용되던 많은 규제와 장려 정책들이 큰 영향을 미치지 못한 이유는 개인의 행태를 만드는 사회 구조를 바꾸지 못했기 때문이라는 것이다(Lutzenhiser et al., 2010).

셋째, 경제학적 접근방법과 심리학적 접근방법은 가구의 외부 요인을 에너지 소비행동을 제약하는 조건으로 보았다. 그러나 사회학적 접근방법은 외부 요인과 가구를 모두 사회 구조의 구성요소로써 상호작용하는 관계로 본다. 따라서 가구의 에너지 소비 행위는 주택, 자동차, 도로와 같은 제약요인 하에서 내려진 의사결정이 아니라, 가구가 주택을 결정하면서 이미 현재와 같은 외부 조건을 결정했기 때문에 나타나는 계획된 활동이기 때문에, 가구의 사회·경제적 속성이 에너지 소비량에 미치는 영향은 주택의 선택 단계에서부터 고려되어야한다는 것이다. 즉 특정 사회·경제적 집단의 에너지 소비가 적은 것은 그들이 에너지 소비가 적은 유형의 주택을 선호하기 때문에 소비량이 적기 때문이라고 볼 수 있다.

그러나 사회학적 접근방법 자체도 외부 요인에 대한 설명이 부족하다는 한계를 지적받는다. 사회구조가 가구의 에너지 행동을 만드는 것으로 가정하고 있으나, 사회의 구조적 변화가 어떻게, 왜 일어나는지 그리고 어떻게 그들이 에너지 수요에 내재되는지에 대한 좀 더 근본적인 질문은 아직 남아있다(Wilson and Dowlatabadi, 2007). 또한 사회학적 접근방법이 얼마나 현실에 부합하는지 검증할 수 있는 방법론이 부족하기 때문에(Crosbie, 2006; Lutzenhiser et al., 2010) 아직까지 개념적 틀을 제안하는데 그치고 있다. 사회학적 접근방법은 가구의 에너지 소비요인을 개인 보다는 도시와 계층 같은 집합적 단위에서 접근한다는 측면에서 정책적으로 유용한 접근방법임에도 불구하고 경제적 또는 심리적 관점에 비해 크

게 활용되지 못하고 있는 것도 에너지 소비를 이끄는 사회 구조를 분석할 수 있는 방법론이 구축되지 못하고 있기 때문이다.

3. 에너지 소비행태에 대한 접근방법 비교

지금까지 살펴본 에너지 소비 행태에 관한 세 가지 접근방법은 서로의 단점을 보완하기 위해 제안되고 발전되어 왔다. 즉 세 접근방법은 개인의 에너지 소비행태를 설명하기위해 상호보완적 관계라고 할 수 있다. 개인의 에너지 소비행태에 대한 폭넓은 이해를 위해 접근방법의 특징과 장·단점을 비교하였다.

세 접근방법의 주요 내용을 정리하면 [표 2-1]과 같다. 접근방법별 목표를 보면 경제학적 접근방법과 심리학적 접근방법은 에너지 소비를 결정하는 단위를 개인 또는 외부조건에 제약된 개인으로 보며 따라서 소비를 결정하고 변화시키는 시간도 중·단기로 짧은 편이다.

경제학적 접근방법은 사람들은 자신이 취할 수 있는 선택들에 대해 평가한 뒤 가장 효용이 높은 대안을 선택하는 합리적 개인으로 가정하고 있으며, 대부분의 에너지 소비 정책 수립에 이론적 토대가 되고 있는 관점이다. 그러나 경제학적 관점은 개인 간 대안 평가의 차이, 효용 평가의 어려움 등으로 한계를 갖고 있다.

이에 반해 심리학적 접근방법은 경제학적 접근방법에서 가정한 합리적이고 이성적인 개인의 의사결정을 수용하면서도 선택 대안을 평가하는 기준이 사람마다 다르기 때문에 같은 상황에서도 각자의 선택은 다를 수 있다는 점을 인정한다. 그리고 개인의 가치, 사고방식, 규범과 같은 심리적 요인들이 행동과 연관되어있기 때문에, 심리적 요인의 변화를 통해 행태를 변화시킬 수 있다고 한다. 그러나 개인의 심리 상태에 대한 측정이 매우 어려우며, 특히 각 사람마다 가치 평가 체계의 차이를 찾아내는 것은 불가능한 일이기 때문에 심리학적 관점이 실제 에너지 소비 정책으로 사용되기는 매우 어렵다는 한계를 갖고 있다.

[표 2-1] 에너지 소비행태에 대한 접근방법 비교

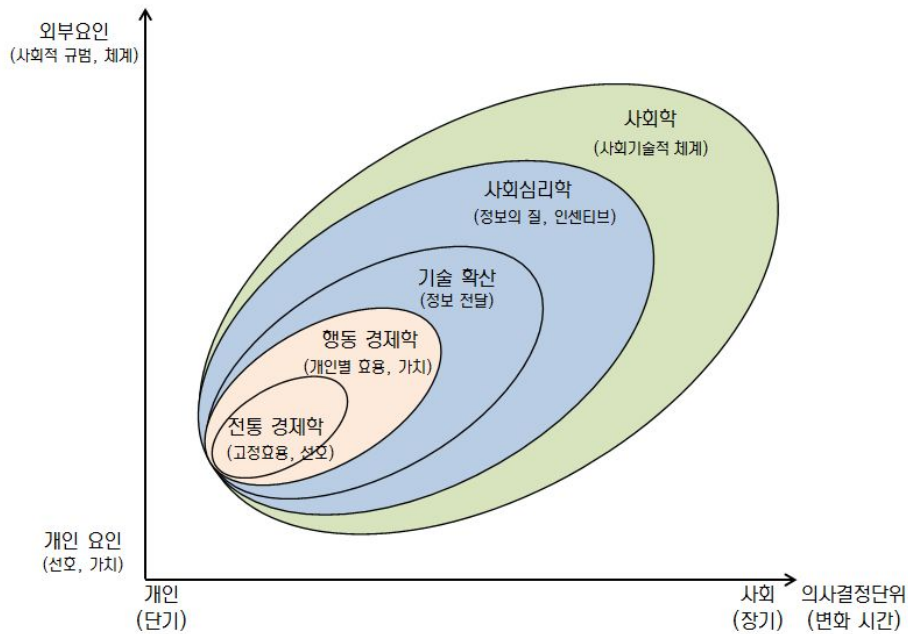
		경제학		심리학		사회학 (사회기술적 관점)
		전통경제학	행동경제학	기술 확산	사회 심리학	
목표		에너지 효율 격차 해소 (에너지 고효율 기기의 보급과 소비 절약 행동)				에너지 소비의 패턴과 변화를 일으키는 사회적 근원
의사결정 단위		개인		개인	개인/사회	개인/사회
기본가정		합리적 개인		심리적 요인이 행동을 변화시킴		모든 요소들은 시스템의 일부분
주요 주제		에너지 효율성 격차, 가격 탄력성, 할인율, 선택 집합		개인(사고방식, 가치), 정보의 전달통로	개인(사고방식, 가치)과 외부요인(정보, 인센티브)의 상호작용	에너지 소비 패턴, 사회 구조
소비 변화 시간 단위		단기		중·단기		장기
행동요인	개인 요인 (individual)	고정효용, 순편익	개인별 효용과 가치	개인 심리(가치, 태도, 규범)		주거 에너지 소비의 내재성
	외부 요인 (context)	선택 집합	선택집합의 제약, 기준점	정보의 전달 통로	정보의 형태와 내용, 규제, 인센티브	사회적 체계의 구성요소들 (기술, 기반시설, 문화, 생활양식, 역사)
장점		명확한 논리	개인별 선택의 차이	행동 변화의 단계적 분석,		사회의 구조적 변화 설명
한계		시간적 불일치, 제한된 합리성, 기준점 효과	심리요인의 측정	심리적 과정에 대한 인식 가능성, 개인적 차이 심리적 과정의 차이		사회 구조의 변화 요인 설명 한계
대표모형*		이산선택모형, 경제공학분석		DoI	VBN, ABC	생활양식 접근법

주. DoI(diffusion of innovations), VBN(value-belief-norm), ABC(attitude-behavior-external conditions)

출처: Lutzenhiser et al.,(2010), Moezzi and Lutzenhiser(2010), Wilson and Dowlatabadi(2007)을 바탕으로 작성

사회학적 접근방법은 앞서 두 접근방법과는 다른 특징들을 갖고 있다. 우선 사회학적 접근방법의 주요 관심은 개인의 의사결정보다 지리적 또는 계층적으로 나타나는 에너지 소비 패턴을 찾고, 소비 패턴의 발생 이유와 변화 요인을 도출하는데 있다. 특히 사회학적 접근방법은 가구의 에너지 소비 행태가 합리적 의사결정의 결과이기보다는 가구에게 내재된 습관적 행동으로 보기 때문에 가구의 에너지 소비 행태를 변화시키기 위해서는 가구·제도·환경 등이 구조적으로 연결된 사회 구조를 변화시킬 수 있는 장기적 노력이 필요하다. 또한 사회학적 접근방법은 집합적 소비 패턴에 관심을 두고 있기 때문에 개인 간 차이보다 유사한 소비 성향을 나타내는 집단 간 차이를 밝히는데 더 중점을 두고 있다. 그동안 가구의 외부요인들을 경제학적 접근방법과 심리학적 접근방법에서는 개인의 합리적 선택에 대한 제약 요인으로 가정하였으나 사회학적 접근방법은 가구와 외부요인이 상호작용하는 사회 구조의 구성요소들로 보고 있다. 이와 같은 구조적 관점은 에너지 소비 문제를 개인의 문제가 아닌 사회 전체의 문제로 확장하여 특히 지역이나 도시에서 에너지 소비 정책을 수립하는데 매우 유용한 접근방법을 제시할 수 있다. 그러나 사회학적 관점은 이론적 논의에 비해 적용할 수 있는 방법론 개발이 미흡하여, 에너지 소비 패턴을 도출하고 비교하는데 그치고 있으며, 사회 구조의 변화 요인과 구조적 변화가 에너지 소비 패턴에 미치는 영향에 관한 연구는 부족하다.

지금까지 고찰한 개인의 에너지 소비행태에 관한 세 접근방법의 관계를 도식으로 나타내면 [그림 2-1]과 같다. 왼쪽에서 오른쪽으로 가면서 의사결정 단위가 개인에서 사회로 확장되며, 이에 따라 변화 시간도 늘어난다. 그리고 아래에서 위로 이동하면서 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인이 개인에서 현재 주거지역의 환경·문화 등 큰 스케일(scale)의 요인들까지 모두 포함한다. 경제학적 접근방법의 단점을 심리학적 접근방법에서 보완하고, 이어 사회학적 접근방법은 가장 통합된 관점을 제시하고 있다. 그러나 사회학적 접근방법에서 초점을 두고 있는 소비 패턴이 나타나는 요인은 경제학과 심리학 접근방법의 연구결과들을 토대로 설명될 수 있을 것이다. 집합적 소비 패턴은 결국 사회구조 변화에 따라 가구의 에너지



[그림 2-1] 에너지 소비행태에 대한 접근방법 간 관계

지 소비 행태가 변하여 집합적으로 표출된 것으로 이해되어야하기 때문이다. 따라서 집합적 소비 패턴과 그 변화를 이해하기 위해서는 각 집단을 구성하는 개인의 의사결정 과정에 대한 이해가 선행되어야하며 결국 사회학적 접근방법은 경제학과 심리학의 개인의 의사결정에 관한 이론적 토대 위에서 사회 구조 내 가구와 외부요인 간 상호작용을 분석하는 접근방법이라고 볼 수 있다.

제 2 절 선행연구 고찰

1970년대 석유파동이후 효율적 에너지 소비와 에너지 소비 감소에 대한 관심이 증가하면서 가구의 에너지 소비요인을 도출하기 위한 연구들이 다양한 학문분야에서 이루어지고 있다. 국내·외 선행연구들은 연구의 목적에 따라 가구의 에너지 소비에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들을 제

시하고 있으며, 요인들은 크게 가구의 인구·사회·경제적 속성과 주택, 교통 시설과 같은 외부 환경 요인으로 나누어 볼 수 있다. 전자는 주로 가구의 사회·경제적 속성에 따른 에너지 소비행태와 생활양식의 차이가 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향에 초점을 두고 있으며, 후자는 지역의 주택, 도로, 도시형태 및 공간구조의 영향에 초점을 두고 있다.

1. 가구의 사회·경제적 속성과 생활양식

가구의 사회·경제적 속성이 에너지 소비와 이산화탄소 배출 차이에 미치는 영향에 관한 연구들은 주로 주거에너지 소비를 대상으로 하고 있으며 특히 개인 속성(성별, 연령, 경제활동 상태 등)과 가구 속성(가구원수, 가구소득 등)들이 에너지 소비량에 미치는 영향을 주택 내 머무는 시간 변화를 통해 설명하고 있다(Bin and Dowlatabadi, 2005; MacKeller et al., 1995; Wei et al., 2007).

Schipper et al.(1989)은 소득, 가구 규모, 가구 구성, 고령화와 같은 사회적 변화에 따라 가구의 활동별 시간이 다르기 때문에 가구의 에너지 소비량과 소비 패턴에도 차이가 나는 것으로 보았다. 예를 들어 소득이 증가하고 여가시간이 증가할수록 주택 내에서 소비되는 에너지는 감소하고 자가용을 이용한 에너지 소비는 꾸준히 증가하게 된다. 한편 영국의 가구를 소비 패턴에 따라 17개 그룹(household group), 56개 가구 유형(household type)으로 구분하여 이산화탄소 배출량을 비교한 연구(Baiocchi et al., 2010)에 따르면 1인당 이산화탄소 배출량이 가장 많은 가구가 적은 가구에 비해 약 2배 정도 많이 배출하는 것으로 나타났다.

1975-1998년까지 가구의 에너지 소비행태와 관련된 연구들을 고찰한 Guerin et al.,(2000)에 따르면 가구 특성 중 소득, 연령, 성별, 자가 소유 여부, 교육수준 등이 에너지 소비에 미치는 영향력이 큰 요인들로 나타났다. 일부 연구에서는 소득이 에너지 소비에 영향을 미치지 않는다고 나타나지만 대체로 소득에 따라 에너지 소비는 증가한다. 그러나 소득이 증가할수록 가구의 총지출에서 주택 내에서 소비하는 주거에너지의 비중은 줄

어든다. 즉, 소득의 증가속도보다 주거에너지 소비의 증가속도가 느리게 나타나는데 이는 주거에너지 소비는 주택의 물리적 성능에 영향을 많이 받기 때문인 것으로 볼 수 있다(Druckman and Jackson, 2008). 또한 고소득자일수록 에너지 절약을 통한 비용 절감 효과에 대해 잘 알고 있기 때문에 에너지 소비를 줄일 수 있는 주택이나 기기에 대해 적극적이다.

가구의 생애주기(life-cycle)와 관련된 연구를 보면 일반적으로 연령이 높아질수록 에너지 소비가 많아지지만, 자녀가 태어나 독립하기 전까지 에너지 소비량이 늘어나다가 자녀가 독립한 후부터는 감소한다. 성별로 보면 편리함과 안락함에 대한 욕구가 큰 여성이 남성에게 비해 에너지를 많이 사용하며, 교육수준이 높은 사람의 에너지 절약 정신이 높다. 가구의 에너지 절약의식의 절약 행동을 분석한 국내 연구에서는 여성, 연령이 높을수록, 그리고 저소득자의 절약 의식과 절약 행동 실천율이 높은 것으로 나타났다(이운재 외, 2011; 임기추, 2008). 대구시 공동주택 거주자의 전력 소비량을 조사한 김유란 외(2011)는 직장인이 자영업자에 비해 약 1.3배, 전업주부가 직장 여성에 비해 약 1.8배의 전력을 더 많이 소비하며, 대학생 자녀가 중고등학교나 직장에 다니는 자녀보다 전력을 더 많이 소비하는 것으로 나타났다. 한편 주택 특성에서는 주택이 클수록 에너지 소비가 늘어나지만, 자가 소유자는 현재 주택에 오래 머물 것을 기대하고 주택에 장기적으로 투자하기 때문에 자가 소유자들이 임차인들에 비해 에너지를 적게 사용하는 것으로 알려져 있다. 그러나 가구 특성이 에너지 소비량에 미치는 영향은 동일한 요인 거주 지역에 따라 반대 부호의 영향력을 나타내거나 때로는 유의하지 않게 나타나기도 한다(Guerin et al., 2000).

최근 국내·외에서 가장 주목을 받고 있는 생활양식의 변화는 가구 규모의 감소이다. 우리나라에서도 커다란 사회적 변화로 인식되고 있는 1인 가구의 증가는 주택과 기타 생활 서비스 수요를 증가시킴으로써 전력, 물, 토지 등과 같은 자원 소비, 쓰레기 배출량을 증가시키고, 그에 따른 1인당 에너지 소비량과 탄소배출량을 증가시킨다(명수정 외, 2010). 국외 연구 결과에서도 1인 가구의 에너지 소비가 다인 가구에 비해 비효율적이며, 1인 당 에너지 소비량으로 봤을 때 1인 가구가 2인 가구에 비해 17-30%

정도 더 소비하는 것으로 나타났다(O'Neill and Chen, 2002; Williams, 2007). 이와 같은 현상은 주거에너지 소비에서 이른바 규모 경제(scale of economy) 효과가 있음을 의미한다. 즉, 한 가구 내에서는 난방, 취사와 같은 에너지의 소비는 여러 사람이 공유하기 때문에 가구원수가 많을수록 1인당 에너지 소비량은 감소하는 효과를 나타낸다. 그러나 전기 소비는 다소 다르다. 가구 규모가 증가함에 따라 조명, 공조기, 세탁 등에 소비되는 전력은 가구원들이 공유하여 1인당 소비 에너지는 줄어들지만, 전자 제품은 가구 규모가 커지면서 크기도 커지고 보유대수가 증가하여 기기 사용에 따른 1인당 전력소비는 오히려 증가한다(서현철 외, 2012).

한편 생활양식의 변화에 따른 에너지 소비 변화를 주거 부문과 교통 부문으로 나누어 분석한 연구들의 경우 개인 및 가구의 에너지 소비 패턴의 변화가 주거부문과 교통부문에서 다른 경향을 보이는지에 대해 초점을 맞추고 있다. Fong et al.(2007)에 따르면 고령자는 주택 내 머무는 시간이 길기 때문에 고령화가 주거에너지 소비를 증가시키지만, 교통에너지 소비는 감소시킨다. 반대로 맞벌이 부부의 증가는 주택 내 시간이 줄어들기 때문에 주거에너지 소비는 감소하고 교통에너지 소비는 증가한다. O'Neill and Chen(2002)에 따르면 가구주 연령이 증가하면서 1인당 주거에너지는 증가하고 교통에너지는 감소하지만, 두 부문의 총합으로 보면 연령이 증가하면서 1인당 에너지 소비량은 증가하다가 55세를 정점으로 하여 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 가구의 규모가 작을수록 1인당 에너지 소비량은 증가하며 같은 가구원수에서는 성인의 수가 증가하면서 1인당 주거에너지 소비량과 교통에너지 소비량이 모두 증가하지만 증가폭은 교통에너지가 더 크다.

생활양식 관련 연구들이 대부분 개인 및 가구의 속성에 따라 생활양식을 구분하고 있는데 반해 국가나 지역 간 차이에 초점을 두고 있는 연구들도 있다. 지역의 자연 환경과 인공적으로 조성된 환경 모두 시간이 흐르면서 축적되었기 때문에 그 지역 환경에 적응한 사람들은 유사한 생활양식을 보인다. 따라서 생활양식의 구분에서 지역적 구분이 중요하며, 특히 지역의 지리적 여건과 기반시설의 영향을 많이 받는 교통 부문 에너지 소

비량에서는 지역적 구분이 더욱 중요하다(Baiocchi et al., 2010). 지역 간 환경적 차이의 가장 대표적인 구분은 도시와 농촌지역이다. 일반적으로 농촌에서 중심도시로 갈수록 교통부문의 이산화탄소배출량은 적어지지만 건물의 건설과 유지에 의한 이산화탄소 배출량과 사람들의 직·간접 소비에 의해 발생하는 이산화탄소는 배출량은 커진다(Heinonen and Junnila, 2011).

도시 내 이산화탄소 배출량에 대한 최근 연구들은 생활양식의 변화는 가구의 직접에너지 소비뿐만 아니라 교통과 제조업 부문에 의해 소비되는 간접에너지 소비에도 영향을 미친다. 간접에너지 소비는 가정 내에서 사용하는 일상용품부터 가구, 전자제품, 주택유형까지 포함된다. 따라서 직·간접에너지를 모두 포함하는 경우 도시 내 거의 모든 종류의 에너지 소비가 가구가 소비하는 재화와 서비스 수요에 대응하여 변한다고 볼 수 있다 (Ironmonger et al., 1995). Kerkhof et al.,(2009)은 국가와 지역 간 가구의 이산화탄소 배출량 비교를 위해 주택, 자동차 이용을 포함하여 생필품 구입, 여가, 외식, 교육 등 가구의 활동별 이산화탄소 배출 집약도 (emission intensity, CO₂/Euro)를 비교하였다. 그 결과 가구의 이산화탄소 배출량이 다른 이유는 국가나 지역별로 가구의 활동별 이산화탄소 배출 집약도와 활동 패턴이 다르기 때문이다. 즉 이산화탄소 배출량이 많은 가구는 다른 가구에 비해 이산화탄소 배출 집약도가 높은 활동이 많은 소비 패턴을 갖고 있기 때문이다. 마찬가지로 지역이나 국가 또는 지역 내 소득 계층 간 가구의 이산화탄소 배출량 차이 역시 가구의 활동패턴이 다르기 때문이다.

간접소비의 범위에 따라 차이가 있으나 간접소비로 인한 이산화탄소 배출량의 규모가 직접 소비로 인한 배출량과 거의 비슷하거나(Hillman and Ramaswami, 2010), 더 많은 것으로(Bin and Dowlatabadi, 2005) 알려져 있다. Bin and Dowlatabadi(2005)의 연구에 따르면 미국의 가구들은 간접에너지 소비가 직접에너지 소비에 비해 1.7배 더 많으며 소득이 증가하면서 간접에너지 소비의 비중은 더욱 커지고 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 중국의 도시와 농촌 거주자들을 비교한 연구(Wei et al., 2007)에서

는 도시는 간접에너지 소비량이 직접에너지 소비보다 2.4배 많지만, 반대로 농촌 거주자들은 직접에너지 소비가 1.8배 더 많은 것으로 나타났다.

가구의 사회·경제적 특성과 생활양식에 따른 에너지 소비와 이산화탄소 배출차이를 보면, 그 영향이 가구의 에너지 소비부문에 따라 다르게 나타나고 있다. 이는 가구 에너지 소비부문에서 증가와 감소가 함께 일어나기 때문에 가구 총에너지 소비의 순(net)변화를 예측하는 것이 매우 어렵다는 것을 보여준다. 또한 에너지 소비 부문별 영향을 보면 가구특성과 생활양식은 주거 에너지보다 자가용을 이용한 에너지 소비에, 난방·온수 등 주택 내 설비를 이용한 에너지보다 기기를 이용하는 전력 소비에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이는 각 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들이 다르기 때문이다. 전력과 자가용에너지 소비는 가전기기, 자동차 등 개인이 구입하는 기기에 큰 영향을 받지만, 상대적으로 난방·온수·취사와 같은 에너지는 주택 유형, 단열재, 설비 등 주택에 고정된 요소의 영향이 더 크기 때문이다(Rickwood et al., 2007). 따라서 전력과 자가용에너지 소비는 인구·사회적 변화의 영향을 많이 받고, 난방·취사·온수 등의 에너지 소비는 기술·공학적 변화의 영향이 크다고 할 수 있다. 한편 지역 간 에너지 소비의 차이는 물리적 환경의 차이일수도 있고, 유사한 에너지 소비행태를 갖는 사람들이 그 지역에 거주하고 있기 때문일 수도 있다. 그러나 지역 간 에너지 소비차이는 어느 한쪽의 영향이기보다는 물리적 환경과 개인의 생활양식이 서로 상호작용한 결과로 보아야 한다.

2. 에너지 소비에 영향을 미치는 환경 요인

가구의 에너지 소비와 그로인해 배출되는 이산화탄소에 영향을 미치는 환경요인을 주거에너지와 자가용에너지 소비에 영향을 미치는 요인으로 구분하였다. 이는 주거와 자가용에너지는 소비되는 공간이 주택과 도로로 나누어져 있기 때문에 영향을 미치는 환경요인이 다르기 때문이다. 이에 따라 지금까지 주거와 자가용에너지 소비요인은 서로 다른 학문 분야에서 연구되어왔다. 자가용 에너지 소비는 이동 범위가 넓고 도로라는 공적 공

간에서 소비되기 때문에 주로 도시계획이나 교통계획 등 공공분야에서 많은 연구가 이루어져왔다. 이에 반해 주거에너지는 주택이라는 한정된 개인적 공간에서 소비되기 때문에 단열, 냉난방 설비 등 주택의 물리적 성능과 가구의 생활양식이 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향이 주로 건축학과 주거학 분야를 중심으로 연구가 이루어졌다.

1) 주거에너지 소비에 영향을 미치는 요인

주거에너지 소비에 관한 연구는 주거학이나 건축학 분야에서 에너지 절약 행동과 주택 성능 개선이 에너지 소비에 미치는 영향에 주로 초점을 두고 이루어져왔다. 주거학 분야에서는 사람들의 주택 내 생활양식의 변화가 주거에너지 소비에 미치는 영향에 관한 연구들이 많이 이루어져 왔으며, 건축학 분야에서는 건축자재, 냉난방 설비, 단열 등 건물의 에너지 효율 개선을 위한 공학적 접근방법(배민호 외, 20078; 송승영·이수진, 2008)들이 이루어지고 있다.

배민호 외(2008)에 따르면 건물의 설비 기술 및 재료에 의한 에너지 절감 효과에 대한 연구 결과들을 종합해 보면 에너지 효율적인 건축 기술과 자재를 사용함으로써 약 20% 내외의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 보았다. 한편 주택 내 설비 외에 주택의 유형과 형태가 주거에너지 소비에 미치는 영향에 관한 연구들도 활발히 이루어지고 있다. 독일 주택을 대상으로 한 연구(Wende et al., 2010)는 64개의 주거단위(unit)를 배치할 때 타워(tower)형에서 사용하는 열에너지 소비량이 단층 단독주택의 약 30%에 불과하다는 결과를 나타냈고, 국내에서는 도시 내 건물의 규모와 높이 등 도시형태에 따른 태양열·풍력과 같은 신재생에너지의 이용가능성이 다르다는 연구결과도 있다(정아름 외, 2010). 또한 최근에는 주택 내에 에너지 정보를 실시간으로 알려주는 이른바 피드백(feedback) 효과에 대한 연구들이 증가하고 있으며, 실시간 소비 정보 설비를 갖추면 5-15% 내외의 에너지를 줄일 수 있다는 결과들이 제시되고 있다(Vine et al., 2012)

이와 같이 주거에너지 소비에 영향을 미치는 환경 요인은 주로 주택으로 한정되어 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그러나 최근에는 밀도와 같

은 도시 형태가 주거에너지 소비에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 이는 도시의 밀도, 면적 등과 같은 도시 형태가 주거에너지 소비를 결정하는 주택의 유형 및 거주자 속성에 영향을 미치기 때문이다.

일반적으로 가구의 에너지 소비는 기후가 온화한 지역이며, 고밀 도심에 가까운 지역일수록 소비량이 적은 것으로 알려져 있다(Glaeser and Kahn, 2010). 기후가 온화한 지역에서 냉·난방 에너지 소비량이 적으며, 도심에서 가까울수록 교통에너지 소비량이 적기 때문이다. 그러나 도시형태가 교통에너지 소비에 미치는 영향은 많은 연구에서 일관되게 나타나지만, 주거에너지 소비는 연구마다 조금씩 다른 결과를 보인다.

고밀지역에서 고층 건물은 냉·난방에너지 소비가 적으나(Qin and Han, 2013), 수직 이동 거리 증가로 인해 승강기 사용에 따른 전력 소비는 증가할 수 있는 가능성이 있다(양희진·최막중, 2011) 또한 고밀도시의 부작용으로 가장 많이 언급되는 열섬현상(UHI: urban heat island)은 냉방 에너지 소비를 증가시킬 수도 있다. 건물의 밀도가 높아지면서 기온이 상승하기 때문에 냉방에너지 소비가 늘어나 전체적으로 볼 때 건물의 에너지 감소효과가 크지 않다는 것이다. Ewing and Rong(2008)은 도시의 밀도, 접근성(accessibility), 중심성(centrality) 등이 직접적으로 주거에너지 소비량에 미치는 영향은 적지만 주택의 크기와 유형 선택에 간접적인 영향을 주는 것으로 보았다. 또한 세 요소들은 열섬효과를 일으켜 도심 내 기온을 높이는 요인으로 보았다. 미국 도시를 대상으로 열섬현상의 효과를 분석한 결과 도시의 압축도가 높아질수록 난방도일(HDDs: heating degree-days) 증가에 의한 난방에너지 증가보다 냉방도일(CDDs: cooling degree-days) 감소에 따른 냉방에너지 감소효과가 더 큰 것으로 나타나, 압축도시가 확산형(sprawl) 도시에 비해 약 20-40%의 주거에너지와 이산화탄소 배출을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 황지욱·김소정(2004)에 따르면 아파트와 일반 주택지를 대상으로 열섬현상을 조사한 결과 열섬현상이 밀도보다는 건폐율과 피복율에 더 큰 영향을 받기 때문에 압축도시가 반드시 열섬현상을 심화시키지는 않는 것으로 나타났다.

최근에는 가구의 간접소비에 대한 관심이 늘어나면서 가구가 이용하는

주택 건축을 위해 간접적으로 배출된 이산화탄소 배출량을 포함하는 연구도 이루어지고 있다. 건물을 짓는데 소요된 건축 재료에 의해 내재된(embodied) 에너지와 이산화탄소 배출량을 보면, 고층건물일수록 공유하는 벽, 기둥 등 구조가 많기 때문에 건물 사용자 1인당 에너지 소비와 이산화탄소 배출량은 저층 건물에 비해 적은 것으로 나타났다(Norman et al., 2006; Perkins et al., 2009).

국내·외 선행연구에서 나타난 주거에너지 소비요인들을 정리하면 [표 2-2]와 같다. 주거에너지에 영향을 미치는 요인을 찾기 위해 선행연구들은 주택에서 소비되는 총에너지 소비량을 대상으로 하거나 또는 난방에너지, 전력과 같이 각 용도별 에너지의 소비요인을 도출하기도 한다. 또한 주거에너지 소비가 가구의 에너지 소비행태에 밀접한 관련이 있기 때문에 가구원들의 소비 행태(에너지 절약 행동)에 영향을 미치는 요인을 분석하기도 한다. 주거에너지 소비요인을 보면 주택의 물리적 성능이 가장 큰 영향을 미치고 있으나, 개인 및 가구의 사회·경제적 특성, 생활양식의 변화, 주택특성, 도시특성 등도 직·간접적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 주택 내에서 소비되는 에너지원의 용도별로 소비 요인에 다소 차이를 보인다. 난방에너지 소비는 주로 주택 유형, 면적, 재료 등 주택의 열 효율에 영향을 미치는 주택의 물리적 성능에 따라 차이를 보이는 반면 전력소비는 개인과 가구의 사회·경제적 특성에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

주거에너지 소비요인에서 더욱 중요한 점은 가구 특성과 주택의 물리적 성능이 서로 밀접하게 연관되어 상호작용을 통해 주거에너지 소비량에 직·간접 영향을 미친다는 점이다(Yun and Steemers, 2011). 가구는 소득, 연령, 가구원수 등에 따라 주택의 유형, 면적 등을 결정하고, 반대로 주택의 물리적 성능은 가구원들의 소비행태에 영향을 미친다. 따라서 가구와 주택특성은 가구의 에너지 소비에 직접적인 영향과 두 요인 간 상호작용을 통한 간접적 영향을 함께 갖고 있다. 두 요인에 비해 도시의 형태와 밀도가 주거에너지 소비량에 미치는 영향은 매우 제한적이고 측정도 어려우나 고밀과 저밀지역, 도시와 농촌 등 지역 간 에너지 소비량을 비교한 연구들을

[표 2-2] 국내·외 선행연구에서 나타난 주거에너지 소비에 영향을 미치는 요인

에너지 소비요인	측정지표	1인당 주거 에너지 소비 측정지표			
		총소비량	난방 에너지	전력	에너지 절약행동
개인 특성	나이	(-)	(-)	(+)/(-)	(+)
	성별(여성)	(+)	(+)	(+)	(-)
	교육수준	(-)			(+)/(-)
가구특성	소득	(+)	(+)	(+)	(-)
	직업(근로자)	(-)	(-)		
	여성경제활동	(-)	(-)		
	가구원수	(-)	(-)	(+)	
	가구구성 (유아 또는 성인수)	(+)	(+)	(+)	
	자가소유	(-)	(-)		(+)
생활양식변화	주택 내 거주시간	(+)	(+)	(+)/(-)	
	여가증대	(-)	(-)	(-)	
주택특성	공동주택	(-)	(-)	(+)/(-)	(-)
	주택면적	(+)	(+)	(+)	(+)
	신규주택	(-)	(-)	(-)	
	방수	(+)	(+)	(+)	
	건축재료(단열)	(-)	(-)	(-)	
	냉방/가전 기기			(+)	
도시특성	인구밀도	(-)	(-)	(+)/(-)	
	인구규모	(-)	(-)	(+)/(-)	(+)
	연중 최고기온			(+)	
	연중 최저기온		(+)		
	에너지 가격	(-)	(-)	(-)	

주1. 부호는 에너지 소비요인과 주거에너지 소비량 간 관계를 나타내며, 두 부호가 함께 있는 요인은 연구에 따라 결과가 다른 요인임

주2. 국내·외 선행연구에서 주거에너지 소비에 미치는 영향이 유의한 대표적인 요인들만 제시하였으며, 그 외 에너지 소비요인 및 분석방법은 [부록 9, 10] 참조

을 통해 지역 환경이 주거에너지 소비에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

이는 도시 형태가 가구의 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치지 않는으나 주택의 유형, 설비 등 직접적인 에너지 소비요인을 변화시킴으로써 주거에너지 소비에 영향을 미치는 간접적인 효과를 갖고 있다는 것을 보여준다. 따라서 도시형태의 간접적인 영향이 실질적인 주거에너지 소비 감소로 이어지기 위해서는 에너지 가격 정책, 건물 에너지 효율성 평가, 에너지 절약에 대한 인센티브 등과 같은 비 도시계획(non-planning) 정책과 결합되어야 한다는 지적이 제기되고 있다(Gray et al., 2010).

2) 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인

1990년대 교토의정서 등 기후변화와 관련된 관심이 증대되면서 지속가능한 개발을 위해 기후변화와 온실가스 감축을 위한 저탄소 도시(low carbon city), 탄소 중립 도시(carbon neutral city), 탄소 무배출 도시(ZEC: zero emission city)와 같은 개념들이 등장하기 시작하였으며, 에너지 소비를 줄일 수 있는 도시 형태를 제안하는 연구가 이루어져 왔다.

에너지 저소비형 도시 형태에 관한 연구들은 주로 도시의 밀도(density), 혼합도(diversity), 디자인(design)이 에너지 소비량에 미치는 영향을 밝히는데 노력해왔다(Lin and Yang, 2009; Mashall, 2008). 그 중 밀도에 관한 논의가 가장 활발히 진행되어왔으며, 이른바 압축도시(compact city)와 교통에너지 소비 간 관계에 대한 논의가 대표적이다.

특히 토지를 고밀·복합 이용함으로써 자동차 이용에 따른 에너지 소비량을 줄이기 위한 압축도시, 대중교통지향형 개발(TOD)에 대한 논의가 이루어지고 있다. 밀도와 교통 에너지 소비량 간 관계는 Newman and Kenworthy(1989)의 연구 이래 압축도시 특성 요인들이 자동차 연료 소비와 그로 인해 발생한 이산화탄소 배출량을 감소시키는 영향에 대한 연구들이 최근까지도 꾸준히 진행되고 있다(김리영·서원석, 2011; 안건혁, 1998; 조운애·김경환, 2008; Grazi, et al., 2008; Liu and Shen, 2011; Newman and Kenworthy, 2006). 이와 같은 연구들은 대상 지역은 다르지만 대부분 밀도가 증가하고 토지이용이 혼합적으로 이용될수록 교통에

너지 소비량이 줄어들고 그에 따라 이산화탄소 발생량도 줄어든다는 결과를 보이고 있다. 압축적 도시개발에 따라 다양한 기능들이 근거리에 위치하기 때문에 이동거리가 줄고, 이동 수단을 자가용에서 대중교통으로 바꿈으로써 더 적은 에너지로 더 많은 사람들이 이동할 수 있기 때문이다.

결국 고밀 개발로 인해 에너지 소비가 감소하는 것은 사람들의 통행행태가 변하기 때문이다. 따라서 도시 밀도가 가구의 통행수단 선택 및 통행발생에 미치는 영향에 관한 연구들도 활발히 이루어지고 있다(김민주 외, 2010; 서민호·김세용, 2011; 신상영, 2004; 박지형 외, 2008; 성현곤·추상호, 2010; 이경환, 2010; van de Coevering and Schwanen, 2006). 최근에는 교통에너지 소비 감소를 위해 압축개발과 함께 대중교통 서비스 공급이 중요하다는 인식 아래 대중교통 지향형 개발(TOD)에 관한 연구들이 이루어 졌다(남기찬 외, 2010; 송기욱·남진, 2009; 이주일, 2007; 황금회, 2001; Cervero and Murakami, 2010). 이와 같은 연구들은 도시 밀도가 높아지고 혼합적 토지이용이 이루어지면 통행수단이 자동차에서 대중교통으로 바뀌고, 통행거리도 짧아지지만 압축적 도시개발이 통행 행태의 변화를 이끌어내기 위해서는 도로 공급을 줄이고 편리한 대중교통서비스가 공급되어야하며, 주차장을 줄이는 등 자동차를 이용했을 때 더 불편하도록 만드는 교통체계가 함께 이루어져야 한다는 것을 강조한다(Kenworthy and Laube, 1996).

2001년 이후 도시형태 요소가 통행 특성에 미치는 영향력(탄력성)을 비교한 Ewing and Cervero(2010)는 사람들의 통행행태에 영향을 미치는 도시의 건조 환경(built environment)들이 통행거리(VMT)과 수단선택(mode choice) 그리고 도보 통행에 미치는 영향력이 서로 다르다는 것을 보이고 있다. 도시의 밀도, 토지이용 혼합도, 교차로 밀도, 대중교통 접근성 등은 모두 통행 거리는 증가시키지만, 도보통행과 대중교통 이용률을 증가시킨다. 영향력의 크기를 비교해보면 도시의 밀도는 통행거리 감소에 더 큰 영향을 미치고, 토지이용 혼합도, 교차로 등은 도보통행과 대중교통 이용률에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 도시 형태요소들마다 교통 에너지 소비에 대한 영향력의 크기와 방향이 다르다는 것을 알 수 있다.

이는 교통에너지 소비 감소를 위한 도시 형태는 여러 도시 형태 요소들이 결합되어야 효율적으로 에너지 소비를 감소시킬 수 있음을 의미한다.

이와 같은 인식에서 최근에는 도시형태 또는 도시계획 요소가 에너지 소비에 미치는 과정을 밝히기 위한 연구들이 이루어지고 있다. 연구들은 가구의 자동차 소유나 이용률 또는 수단선택 등을 도시형태가 에너지 소비량에 영향을 미치는 매개 변수로 가정하고, 도시형태가 매개변수에 미치는 영향을 검증한다.

도시형태가 통행 발생률과 이동수단 선택확률에 미치는 영향을 검증한 Lin and Yang(2009)에 따르면 인구밀도는 직접적으로 통행 발생률과 대중교통서비스 이용을 높이며, 간접적으로는 개인의 자동차 선택확률을 감소시킨다. 토지이용 혼합이나 복합개발을 나타내는 다양성은 통행발생량을 직접 감소시키는 효과를 보이지만, 간접적으로는 개인 자동차 이용확률은 증가시키고, 보행 친화적 도시디자인의 직접적으로 자가용 선택확률을 감소시킨다. 또한 밀도는 이동수단 및 자동차유형 선택에도 영향을 미쳐 간접적으로 주행거리를 감소시키는 효과를 갖고 있다(Liu and Shen, 2011). 그러나 도시 밀도가 항상 에너지 감소효과만 나타내는 것은 아니다. 경로분석을 통해 자동차 주행거리에 영향을 다양한 요인들의 직·간접 영향을 분석 한 Cervero and Murakami(2010)에 따르면 인구밀도는 직접적인 주행거리 소비 감소효과를 갖고 있으며 더불어 간접적으로도 자동차 이용률과 시가화 면적을 감소시켜 주행거리를 줄인다. 그러나 인구밀도의 증가는 도로 밀도, 소매업 밀도 그리고 기반산업(basic-job) 접근성을 높여 에너지 소비량을 증가시키는 것으로 나타나 인구밀도가 간접적으로 주행거리를 증가시키는 효과도 있는 것으로 나타났다. 직접효과를 통한 주행거리 감소효과가 더 크기 때문에 결과적으로 밀도는 주행거리를 감소시키는 것으로 산출되었으나, 이 결과는 지역의 상황에 따라 고밀 개발이 주행거리를 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다. 최근에는 도시 밀도가 에너지 소비에 미치는 영향에 대한 분석을 넘어 대기오염에 미치는 영향까지 확장된 연구들이 이루어지고 있다(김승남 외, 2009; 송기욱·남진, 2009).

도시의 밀도가 교통에너지 소비에 미치는 영향이 간접적이라는 것은 압

축 개발이 실질적으로 에너지 소비를 감소시키기 위해서는 거쳐야하는 단계와 조건이 필요하다는 것과 따라서 고밀 개발만으로 통행 행태를 변화시키는 것은 어렵다는 것을 보여준다. Breheny(1995)는 압축도시가 줄일 수 있는 교통에너지 소비량 효과가 크지 않기 때문에 오히려 연료 가격을 높이거나 자동차의 연료효율을 높이는 정책을 사용하는 것이 더 큰 에너지 절감효과가 있다고 하였다. 특히 밀도의 증가가 이동거리가 긴 여가 통행 패턴에는 큰 효과를 미치지 못하기 때문에 교통부문 전체적으로는 이산화탄소 배출 감소는 크지 않다는 연구도(Boarnet and Sarmiento, 1998) 제시되었다. 이와 더불어 대중교통 서비스의 에너지 소비 감소효과에 대한 우려도 있다. Gordon and Richardson(1989)은 지역마다 공간구조가 다르고 고용과 주거의 입지 관계가 다르기 때문에 대중교통 수단의 확충이 반드시 에너지 절감 효과로 이어지지 않을 수 있으며, 대중교통이 에너지를 절약할 수 있다는 확실적인 믿음으로 모든 도시에 대중교통을 확충하는 경우 자동차를 이용하는 것보다 더 많은 비용과 자원을 투입해야하는 경우가 발생할 수도 있다는 점을 지적하였다. 특히 교외지역과 도심을 연결하는 철도 등을 건설하는 경우 오히려 교외화를 부추김으로써 더 많은 교통에너지가 사용될 수도 있는 문제를 제기하였다.

한편 인구밀도의 증가가 지속적으로 교통에너지 소비량을 감소시키지 않고, 밀도 증가에 따라 교통에너지 소비량이 감소하다가 일정 수준 이상이 되면 교통 혼잡 등으로 인해 오히려 교통에너지 소비량이 증가하는 U자형의 관계를 갖기 때문에 교통에너지 소비량이 최소가 되는 적정개발밀도가 존재한다는 연구도 있다(Holden and Norland, 2005). 적정 개발 밀도에 관한 국내 연구(안건혁, 2000, 조운애, 2011)에서도 이와 같은 관계가 확인되고 있으며 순밀도가 약 400-600명/ha 이상이 되면 오히려 교통에너지 소비량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 에너지 소비량이 최소가 되는 적정 인구규모나 인구밀도가 뚜렷하게 확인할 수 없다는 결과도 있다(남창우·권오서, 2005). 도시 형태 측면에서는 단핵 구조의 압축도시보다 분산 집중형(decentralized-concentration) 다핵구조를 제안하기도 한다. 분산집중형 다핵도시구조는 중심도시에 직주 일치를 위해 주거와

산업이 함께 있는 것보다는 주위에 집중된 형태로 주거와 산업이 분산되어 위치하고 철도 등과 같은 대중교통 체계로 연결된 형태이며, 이와 같은 도시 형태가 교통에너지 절감에 더 효과적이고(김선희 외, 2003; 안건혁, 2000) 대기오염 측면에서도 더 바람직하다는 연구 결과도 있다(김승남 외, 2009).

최근에는 지역 특성이 가구가 소비하는 주거에너지와 교통에너지에 미치는 영향을 함께 분석하고 두 부문의 차이를 비교한 연구들이 이루어지고 있다. 일반적으로 교외지역일수록 주거에너지보다 교통에너지 비중이 커지고, 도심 지역일수록 주거에너지 비중이 높으며, 주거에너지 중 전력 소비의 비중이 커진다. Norman, et al.(2006)에 따르면 저밀도 지역에서는 주거부문 이산화탄소가 총배출량의 61%를 차지하지만 고밀도 지역은 그와 반대 경향을 보인다. 그러나 도심으로부터의 거리에 따른 주거와 교통 부문 에너지 소비량 변화에 대한 토론토(Perkins et al. 2009)와 호주(van de Weghe and Kennedy, 2007)의 연구에서는 도심(urban center)과 교외(outer suburb)의 중간지역(inner suburb)에서 이산화탄소 배출량이 가장 적은 띠(band) 지역이 생길 수 있다는 것을 보이고 있다. 이 중간 지역은 도심의 혼잡효과도 없으며 중심부와 가까이 있고 편리한 대중교통 서비스를 제공받을 수 있기 때문에 중심부와 거리가 멀어지더라도 승용차 이용이 늘어나지는 않는 지역이다. 또한 고층 아파트에 거주하는 도심 거주민이나 단독주택에서 생활하는 교외 지역 거주자들보다 건물에너지 소비량도 가장 적다. 따라서 도심에서 멀어질수록 1인당 총에너지 소비량은 오히려 줄어들다가 대중교통 서비스가 잘 갖추어지지 않은 저밀 교외 지역으로 나가면서 다시 총에너지 소비량이 늘어난다. 두 연구의 결과는 지역에 따라 에너지 소비량에 차이가 있으나 주거와 교통 부문의 변화는 다를 수 있음을 보여준다. 또한 교통에너지가 주거에너지에 비해 지역 환경과 도시 기반시설에 더 크게 변한다는 것을 확인할 수 있다.

국내·외 선행연구 고찰을 통해 가구의 자가용 에너지 소비에 영향을 미치는 요인을 정리하면 [표 2-3]과 같다. 자가용 에너지 소비에 영향을 미치

[표 2-3] 국내·외 선행연구에서 나타난 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인

에너지 소비요인		측정지표	1인당 자가용 에너지 소비량 측정지표			
			통행 발생량	자가용 이용률	1인당 주행거리	1인당 휘발유 소비량
도시형태	밀도	인구밀도	(-)	(-)	(-)	(-)
		고용밀도	(-)	(-)	(-)	(-)
		공동주택비율	(+)	(-)	(-)	(-)
	혼합도	토지이용혼합도		(-)	(+)/(-)	(+)/(-)
		직주 혼합	(-)	(+)/(-)		(-)
교통기반 시설	도로	도로밀도(면적)	(+)/(-)	(+)	(+)	(+)/(-)
	도로망	교차로밀도		(+)	(-)	
	연료	연료 가격			(-)	
대중교통 보급	접근성	버스 정류장 밀도	(-)	(-)	(-)	(-)
		지하철 접근성	(-)	(-)	(-)	(-)
개인 및 가구 특성		나이		(+)		
		성별(여성)		(-)		
		교육수준		(+)		
		소득	(+)	(+)	(+)	(+)
		가구원수		(-)	(+)	
		자동차보유대수	(+)	(+)	(+)	(+)
		통근거리	(-)	(+)/(-)		(-)
		도심까지 거리		(+)	(+)/(-)	

주1. 부호는 에너지 소비요인과 자가용 에너지 소비량 간 관계를 나타내며, 두 부호가 함께 있는 요인은 연구에 따라 결과가 다른 요인임

주2. 국내·외 선행연구에서 자가용 에너지 소비에 미치는 영향이 유의한 대표적인 요인들만 제시하였으며, 그 외 에너지 소비요인 및 분석방법은 [부록 11, 12] 참조

치는 요인들은 크게 도시형태, 교통기반시설, 대중교통보급 그리고 개인 및 가구의 사회·경제적 특성으로 구분할 수 있다. 도시형태는 주로 밀도와 혼합도로 측정되고 있으며, 혼합도가 연구에 따라 에너지 소비량에 미치는 영향이 다소 차이를 보이는데 반해 밀도는 대부분의 연구에서 자가용 에너지 소비를 줄이는 요인으로 나타나고 있다. 도시형태와 더불어 자가용 이용의 용이성을 나타내는 교통기반시설과 자가용을 대체할 수 있는 이동수단을 제공하는 대중교통보급 요인을 자가용 에너지 소비의 중요한 요인으로 보고 있다. 일반적으로 자가용을 위한 도로 공급에 비해 대중교통 보급이 늘어나면 자가용 이용이 불편해지기 때문에 가구는 이동수단을 버스나 지하철과 같은 대중교통수단으로 바꾸기 때문에 자가용 이용에너지 소비는 감소하는 것으로 알려져 있다. 따라서 고밀개발만으로는 교통에너지 소비감소가 어렵다는 지적이 증가하면서 최근에는 실질적인 에너지 감소를 위해 함께 이루어져야할 조건에 관한 연구들이 증가하고 있다. 교통에너지 소비 감소를 위해서는 직주근접·용도 혼합과 같은 토지 이용 정책과 교통계획이 통합된 도시 정책의 필요성이 제기되고 있으며(Cervero, 1996; Dieleman et al., 2002; Mindali et al., 2004), 나아가 토지이용, 에너지 공급 구조개선 그리고 주택 및 자동차의 에너지 효율 향상 포괄할 수 있는 정책이 시행되어야 교통부문에서 효과적인 에너지 절약 효과를 나타낼 수 있다는 주장(Owens, 1992)도 나타나고 있다.

제 3 절 소 결

가구의 에너지 소비요인을 도출하기 위해 경제학, 심리학, 사회학 등 다양한 학문분야에서 많은 연구들이 진행되었다. 경제학적 접근방법은 에너지 고효율 기기를 수용하고 사용하려는 합리적 의사결정 과정에 초점을 두고 있으며, 심리학적 접근방법은 개인 간 선택의 차이를 설명하기 위해 개인의 심리적 가치가 중요한 의사결정 요인임을 강조한다. 경제학과 심리학적 접근방법과 달리 사회학적 접근방법은 가구를 사회의 구성요소로 보

고 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 사회 구조와 변화에 더 초점을 두고 있다. 세 접근방법은 에너지 소비요인에 대한 다소 다른 관점을 갖고 있으나 가구의 에너지 소비행태를 이해하고 설명하기 위해 상호보완적 관계라고 볼 수 있다. 따라서 가구의 에너지 소비행태를 이해하기 위해 꾸준히 통합적 접근방법의 필요성이 제기되고 있다.

국내·외에서 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들을 찾기 위한 연구들이 이루어져왔으며, 최근에는 에너지 소비로 인해 배출되는 이산화탄소에 관한 연구들이 증가하고 있다. 가구의 에너지 소비요인은 크게 소득, 연령, 가구 규모 등 가구 특성과 주택, 자동차, 기반시설 그리고 제도 등 외부 환경으로 나누어 볼 수 있다. 국내·외 선행연구 고찰을 통해 나타난 가구의 에너지 소비에 대한 연구 방향과 그 한계를 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출 변화를 이해하기 위해서는 가구의 에너지 소비를 통합적으로 분석해야하며, 에너지원별로 세분화한 연구가 필요하다. 가구의 주거와 교통에너지는 에너지 소비 공간이 다르기 때문에 요인도 다를 것이라는 인식하에 그동안 서로 다른 분야에서 다루어져왔으나, 최근 두 부문을 함께 고려한 연구들은 가구 특성과 지역 환경 요인들이 두 부문에 함께 영향을 미치고 있음을 보였다. 따라서 가구의 에너지 소비요인을 파악하기 위해서는 가구의 에너지 소비를 주택 내로 한정해서는 안 되며, 교통에너지 소비를 포함한 통합적 분석이 필요하다. 또한 가구의 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 가구의 에너지 소비를 에너지원별로 세분화된 연구가 필요하다. 특히 에너지원도 다양한 주거에너지는 가구 특성 및 물리적 환경의 영향이 에너지원별로 다르기 때문에 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량 변화를 이해하기 위해서는 에너지원을 세분화한 연구가 필요하다.

둘째, 가구의 에너지 소비요인 도출을 넘어 최근에는 각 요인들이 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 과정을 밝히기 위한 연구들이 증가하고 있다. 가구 특성과 지역 환경 등은 가구의 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치면서, 서로의 변화에 영향을 미침으로써 에너지 소비에

대한 간접적인 영향도 함께 갖고 있다. 더구나 직접적인 영향과 간접적인 영향이 서로 상충된 효과를 보이기도 하고 가구의 에너지원별 소비에 서로 다른 영향을 미칠 수 있다. 따라서 각 요인들이 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 파악하기 위해서 그 과정에 대한 연구가 필요하다. 특히 가구의 에너지 소비를 바라보는 관점이 의사결정이라는 개인적 관점에서 지역과 사회의 구성요소 간 상호작용에 의한 결과로 보는 구조적 관점으로 변하고 있다. 즉 가구의 사회·경제적 특성과 지역의 사회·물리적 환경이 서로 작용하며 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출의 변화를 이끈다는 것이다. 따라서 에너지 소비에 대한 가구의 의사결정 과정과 그 의사결정에 영향을 미치는 물리적 환경과 사회적 제도 또는 지역의 고유한 특성들을 포함하는 통합적 연구의 필요성이 제기되고 있다.

제 3 장 가구부문의 이산화탄소 배출요인 분석

본 장에서는 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 도출하기 위해 먼저 국내 가구의 에너지 소비량을 파악할 수 있는 자료를 검토하고 지역별 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 그리고 도시 특성별 가구부문의 이산화탄소 배출량 차이와 도시 환경 특성과 이산화탄소 배출량 간 상관분석을 통해 가구의 이산화탄소 배출요인을 도출하였다.

제 1 절 이산화탄소 배출량 산출을 위한 자료 및 방법

가구의 에너지 소비에 관한 연구에서 가장 중요하면서 어려운 점은 에너지 소비 자료를 수집하는 것이다. 가구의 에너지 소비 분석은 에너지 소비행태와 사회·경제적 특성을 나타내는 데이터 가용성에 달려있으며 연구 범위와 방법도 자료의 양과 질에 의해 결정된다(Swan and Ugursal, 2009). 또한 가구의 사회·경제적 특성 및 지역 환경을 포함하는 에너지 소비요인에 대한 통합적 관점의 분석을 위해 에너지 소비량 자료가 시계열적으로 구축되어있어야 하며, 가구의 사회·경제적 속성을 측정할 수 있는 자료이어야 한다. 더 나아가 지역의 물리적·제도적 환경이 가구의 에너지 소비량에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 적절한 공간 단위에서 자료가 집계되어야 한다.

1. 자료의 선정

국내에서 가구 부문의 에너지 소비량을 측정하기 위해 활용 가능한 자료는 에너지원별 소비량의 집계자료와 표본 조사로 나누어 볼 수 있다(표 3-1 참조). 에너지원별 소비량 자료는 석유, 전력, 도시 가스 등을 공급하는 공사와 협회에서 작성한 연간 판매량 자료로 국내에서 실제 소비된 에

너지 소비량을 측정할 수 있고, 비교적 오랜 기간 자료가 축적되어있다는 장점이 있다. 지식경제부와 에너지경제연구원은 시·도별 에너지 소비량을 집계하여 「지역에너지 통계연보」를 매년 발행하고 있다. 그러나 최종 소비 부문에서 가정과 상업용 에너지 소비량이 분리되어 있지 않기 때문에 가구에서 사용하는 에너지를 파악하기 어려운 단점을 갖고 있다.

한편 표본조사 자료는 각 기관에서 전국 표본가구를 대상으로 조사되며, 에너지 경제 연구원에서 시행하는 「에너지총조사」가 대표적이다. 에너지총조사는 1981년부터 매 3년마다 산업, 수송, 상업 및 공공, 가구 부문의 에너지 소비량을 조사하여 시·도 단위의 부문별 에너지 소비량을 발표하고 있다. 에너지총조사는 긴 시계열 자료를 구축하고 있으며 지역에너지 통계연보와 달리 가구의 에너지 소비량을 분리하여 파악할 수 있고, 가구의 주택 내 주거에너지와 자가용 소비 에너지를 함께 파악할 수 있는 장

[표 3-1] 국내 에너지 소비 자료 현황

자료명	에너지원별 소비량		표본조사		
	석유류수급통계 한국전력통계 도시가스공급자료	지역 에너지 통계연보	에너지 총조사	국가온실가스 배출량조사	자동차주행 거리실태조사
조사주기	매년	매년	3년	3년	매년
조사단위 (표본 수)	시·군·구 ¹⁾	16개 시·도	16개 시·도 (5,000 가구)	16개 시·도 (67,000 가구)	16개 시·도 (249천대) ²⁾
항목	가정	가정·상업	가정	가정 (2006, 2009)	
	상업	공공·기타	상업·공공	상업·공공 (2006, 2009)	
	수송	수송	수송	수송 (2007, 2010)	
	산업	산업	산업	산업 (2005, 2008)	
조사기관	에너지원별 공사 또는 협회	에너지경제 연구원	에너지경제 연구원	에너지 관리공단	교통 안전공단

주1. 석유와 전력 소비량은 232개 구·시·군 단위로 집계되어 있으나, 도시가스는 16개 시·도 단위 조사만 되어있음

주2. 자동차 주행실태 조사 중 자가용 표본수임

점을 갖고 있다. 그러나 에너지총조사가 3년마다 조사되기 때문에 에너지 소비 변화 요인의 시차가 3년으로 고정될 수밖에 없으며, 원시 자료(raw data)가 제공되지 않기 때문에 상세한 가구의 사회·경제적 속성을 분석할 수 없다는 한계를 갖고 있다. 에너지 관리공단에서 시행하는 「국가온실가스 배출량 조사」는 2005년부터 시행되어 산업, 가정·상업, 수송 등 부문별 에너지 소비량을 번갈아가며 조사하고, 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량까지 산정하여 시·도 단위로 제공한다. 그러나 국가온실가스 배출량 조사도 에너지총조사와 마찬가지로 원시자료가 제공되지 않기 때문에 분석에 한계를 갖고 있다.

한편 가구의 자가용 이용에 따른 에너지 소비량을 파악할 수 있는 자료는 더 제한적이다. 국내 연구에서 가장 많이 사용되는 자료는 한국석유공사의 지역별 도로부문 휘발유 판매량이다. 그러나 휘발유 판매량은 자가용의 소비량을 분리할 수 없고, 자가용 중 경유 및 LPG를 이용하는 차량의 에너지 소비량을 파악할 수 없는 단점을 갖고 있다. 또한 지역 내 휘발유 판매량으로 지역 주민이 아닌 사람의 소비량도 집계될 수 있기 때문에 모든 판매량을 지역 주민이 소비하는 것으로 보기 어렵다. 이에 반해 에너지총조사와 국가온실가스 배출량 조사는 가구의 자가용 이용량을 조사하기 때문에 가구의 자가용 이용 성향과 행태를 파악할 수 있고 주거와 자가용 이용 에너지를 함께 비교할 수 있는 장점이 있으나, 소비량이 시·도 단위로 집계되어있기 때문에 지역별 가구의 에너지 소비 행태를 파악하는데 한계가 있다. 가구의 자가용 이용 에너지 소비량을 파악할 수 있는 자료 중 교통안전공단에서 실시하는 「자동차주행거리 실태조사」는 매년 자동차 정기검사를 받은 차량들의 주행거리를 바탕으로 지역별 자동차들의 평균 연간 주행거리를 산출한다. 자동차 주행거리 실태조사는 용도별(관용, 자가용, 사업용), 차종별(승용, 승합, 화물, 특수) 주행거리를 파악하기 때문에 자가용만의 주행거리를 파악할 수 있고, 자가용의 실제 주행 거리이기 때문에 지역별 가구의 자가용 이용현황을 파악하는데 유리하다.

가구의 에너지 소비량을 파악하기 위해 국내에서 가용한 자료들을 검토한 결과 각 자료들은 장·단점을 갖고 있기 때문에 본 연구에서는 분석 목

적에 맞는 자료를 각각 사용하였다. 가구 부문의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산출을 위해 주거에너지는 석유, 도시가스, 전력의 가정용 소비 자료를 사용하고 자가용 에너지 소비는 자동차 주행거리 실태조사 자료의 자가용 주행거리를 이용하여 산출하였다.

2. 이산화탄소 배출량 산출 방법

가구부문의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 도출하기 위해 먼저 도시 가구부문의 에너지 소비자료를 통해 2010년 제주특별자치도를 포함한 81개 도시를 대상으로 가구부문 이산화탄소 배출량을 산출하였다.

도시 가구부문의 주거에너지 소비량은 석유류(한국석유공사), 전력(한국전력공사), 도시가스(한국도시가스협회) 소비량으로 측정하였으며, 자가용 에너지 소비량은 자동차 주행거리 실태 조사의 자가용 중 승용차의 연간 주행거리를 사용하였다. 즉, 본 연구에서 도시 가구부문 에너지 소비는 석유류, 도시가스, 전력 그리고 자가용의 주행거리에 의한 연료 소비량 합계를 의미한다.

2010년 에너지총조사(지식경제부, 2011)에 따르면 주택에서 사용하는 에너지원은 연탄, 석유, 도시가스, 전력, 열, 임산연료 등 6가지로 구분되나, 석유, 도시가스, 전력을 제외한 에너지는 지역별 소비량이 집계되지 않기 때문에 제외하였다. 그러나 석유, 도시가스¹⁾, 전력이 전체 주거에너지 소비의 약 91%를 차지하기 때문에 세 에너지원의 소비량으로 지역 간 가구 부문의 주거에너지 소비 차이를 비교하기에 타당할 것으로 판단된다.

우선 주택 내에서 소비되는 주거에너지의 소비량과 그로 인한 이산화탄소 배출량은 다음과 같은 과정을 통해 산출하였다.

가구의 석유류, 도시가스, 전력 소비는 소비 단위(ℓ , m^3 , Mwh)가 다르기 때문에 석유환산계수와 탄소배출계수와(부록 1 참조), (식 3-1), (식 3-2)를 통해 도시별 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량으로 산출하였다. 각 에너지원별 연료 소비는 고유의 석유환산계수를 통해 석유환산톤(TOE:

1) 도시가스 소비량은 취사용과 난방용을 모두 포함

Tonne oil equivalent)으로 환산하고, 환산된 에너지 소비량에 탄소 배출 계수를 곱하여 각 연료 소비에 따른 이산화탄소 배출량을 산출하였다.

$$\text{에너지 소비량(TOE)}_i = \text{연료소비량}_i * \text{석유환산계수}_i \quad (\text{식 3-1})$$

$$\text{이산화탄소 배출량}_i = \text{에너지 소비량}_i * \text{탄소배출계수}_i * (44/12) \quad (\text{식 3-2})$$

여기서, i : 가구부문의 에너지원(석유, 도시가스, 전력),
(44/12)는 탄소배출량을 이산화탄소 배출량으로 변환하기 위해
(이산화탄소 분자량/탄소원자량)을 곱한 것임

각 도시별 소비 자료가 구축되어 있는 석유류와 전력은 두 식을 통해 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산출할 수 있으나 도시가스 소비량은 시·도 단위로 소비량이 집계되어 있기 때문에, 도시별 도시가스 소비량은 추정과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 시·도의 도시가스 판매량을 각 시·군의 도시가스 이용 가구 수에 따라 분배하여 81개 도시의 도시가스 소비량을 추정하였다. 우선 각 시·군의 통계연보와 홈페이지를 통해 가정용 도시가스가 공급되지 않는 시·군을 제외하고, 도시가스가 공급되는 시·군만을 대상으로 도시가스 이용 가구 수 비율로 (식 3-3)과 같이 시·도의 소비량을 분배하였다. 단 도시가스 이용 가구 수 자료가 없는 시·군은 총가구수에 시도의 도시가스 보급률을(지식경제부·에너지경제연구원, 2011) 곱하여 도시가스 이용 가구 수를 산출하여 사용하였다. 그리고 추정된 시·군별 도시가스 소비량을 (식 3-1), (식 3-2)를 이용하여 도시가스 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산출하였다.

$$\begin{aligned} & \text{r도시의 도시가스 소비량} \quad (\text{식 3-3}) \\ & = \text{시·도의 총소비량} * (\text{r도시의 도시가스 이용가구수} / \text{시·도의 총도시가스 이용가구수}) \end{aligned}$$

한편 가구의 자가용 이용에 따른 에너지 소비량은 교통안전공단의 자동차 주행거리 실태조사 자료의 자가용 연간 주행거리를 이용하여 연료 소비량과 이산화탄소 배출량을 산출하였다. (식 3-4)와 같이 각 도시별 1인당 자가용 주행거리에 주행거리 당 연료 소비량(연비)을 곱하여 에너지 소

비량을 산출하였으며, 주행거리가 연료별로 구분되지 않기 때문에 모든 자가용의 연료는 휘발유로 가정하였다.

$$\text{휘발유 소비량}(\ell) = \text{총주행거리(km)} / \text{평균 연비}(\ell/\text{km}) \quad (\text{식 3-4})$$

위 식과 같이 도시별 가구의 자가용 에너지 소비와 이산화탄소 배출량은 휘발유 소비량에 의해 결정되기 때문에, 실제 자가용의 연료 소비량을 추정하기 위해서는 주행거리를 휘발유 소비량으로 환산하는 자동차 연비 지수의 선택이 매우 중요하다.

본 연구에는 국내 가구의 실제 자가용 에너지 소비를 산출할 수 있는 연비를 결정하기 위해 [표 3-2]와 같이 3가지 자료의 연비를 고려하였다.

자동차 에너지 소비효율 분석 자료(에너지관리공단, 2011b)의 연비는 2010년 판매된 승용차의 평균 연비로 약 12.87(km/ℓ)이다. 자동차주행거리 실태조사(교통안전공단, 2011)의 연비는 한국석유공사의 2010년 도로부문 휘발유 소비량을 휘발유를 사용한 모든 차량의 연간 총주행거리로 나눈 값으로 8.63(km/ℓ)로 에너지 소비효율 자료의 연비보다는 낮게 나타났다. 마지막으로 에너지총조사는(지식경제부, 2011) 자가용의 배기량별 연간 주행거리와 연료 소비량을 함께 제시하고 있다. 그러나 도시별 자가용의 연간 주행거리가 배기량별로 구분되어 있지 않기 때문에 주행거리와 연료소비량을 이용하여 [부록 2]의 방법을 통해 자가용의 평균 연비를 계산하였다. 계산 결과 자동차 주행거리 실태조사와 같은 8.63(km/ℓ)의 연비를 나타냈다.

연비를 이용하여 산출한 자가용의 에너지 소비량을 2011년 에너지총조사 결과와 비교하면 [표 3-2]와 같다. 국내에서 자가용의 에너지 소비량 자료가 구축되어 있지 않기 때문에 산출된 자가용 에너지 소비량의 정확도를 검증할 기준자료가 없다. 따라서 오랜 기간 국내의 부문별 에너지 소비량을 조사하고 자료를 구축해온 에너지총조사의 에너지 소비량이 국내에서 가장 신뢰할 수 있는 자료로 판단하여 에너지총조사의 자가용 에너지 소비량과 유사한 소비량을 산출하는 연비를 선택하였다.

연비가 가장 높은 에너지 관리공단 자료를 이용하면 자가용 에너지 소비량은 2011년 에너지총조사 자료의 약 57%에 불과하다. 이는 에너지 관리공단의 연비는 공인 연비로 실제 도로에서의 연비보다 높기 때문이다. 자동차 주행거리 실태조사와 에너지총조사 자료의 연비를 이용하는 경우에는 에너지총조사의 자가용 에너지 소비량에 비해 약 85% 정도로 가까운

[표 3-2] 자가용 연비별 에너지 소비량 비교

(단위: 백TOE, %)

			자가용 에너지 소비량	비율
2011 에너지총조사			160,285	
연비 (km/ℓ)	자동차 에너지효율 분석집	12.87	91,383	57.0
	자동차주행거리실태조사 에너지총조사	8.63	136,280	85.0

주1. 비율=소비량자료/ 2011 에너지총조사의 자가용에너지 소비량 * 100

주2. 자가용은 자가용 중 승용일반과 승용다목적 합계임

출처: 자동차 에너지 소비효율 분석집(에너지관리공단, 2011b), 자동차주행거리실태조사
(교통안전공단, 2011), 에너지총조사(지식경제부, 2011)

[표 3-3] 에너지원별 소비자료와 에너지총조사 결과 비교

(단위: 백TOE, %)

		에너지원별 소비량	에너지총조사	비율
합계		321,130	359,825	89.2
주거	소계	184,850 (57.6)	199,540 (55.5)	92.6
	석유 및 도시가스	132,223 (71.5)	146,360 (73.3)	90.3
	전력	52,619 (28.5)	53,180 (26.7)	99.0
교통	자가용	136,280 (42.4)	160,285 (44.5)	85.0

주. 비율 = 에너지원별 소비량자료/에너지총조사자료*100

값을 보였다. 따라서 도시 가구부문의 자가용 에너지 소비량은 연비(8.63 km/ℓ)를 이용하였다.

에너지원별 소비 자료를 이용해 산출된 가구의 에너지 소비량을 에너지 총조사 자료와 비교하면 [표 3-3]과 같다. 가구의 총 에너지 소비량은 에너지총조사의 소비량에 비해 89.2%정도로 적게 산출되었다. 주거 에너지 소비는 에너지총조사 자료의 약 90% 정도이고 자가용 에너지 소비가 약 85% 정도로 산출되어 교통에너지에 비해 주거에너지 소비량이 에너지총조사 자료와 근접한 값을 나타냈다. 주거에너지에서는 전력이 에너지총조사 자료의 약 99%의 값을 보여 가장 차이가 적게 나타났고, 석유와 도시가스 합계는 에너지원별 소비량이 에너지총조사의 결과에 약 90.3%정도의 소비량을 보였다. 에너지원별 소비량 자료에 의해 산출한 가구의 총에너지 소비량이 에너지총조사의 약 90%에 가까운 값을 보임으로써 가구부문의 에너지 소비를 측정하는 자료로 유의한 자료로 판단할 수 있다.

제 2 절 가구부문의 이산화탄소 배출 현황 및 차이

도시 가구부문의 이산화탄소 배출요인 분석을 위해 우선 가구부문의 에너지원별 이산화탄소 배출량 차이를 분석을 통해 도시별 에너지 소비 패턴의 차이를 분석하였다. 그리고 도시를 유사한 환경과 생활패턴을 가질 것으로 예상되는 집단으로 분류하여 집단 간 차이를 통해 도시특성이 가구부문의 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 추론하였다. 또한 앞서 이론고찰과 선행연구를 통해 도출된 가구의 에너지 소비요인과 도시 간 이산화탄소 배출량 간 산점도와 상관관계 분석을 통해 국내 도시 가구부문의 이산화탄소 배출 요인을 도출하였다.

1. 에너지원별 이산화탄소 배출량 차이

2010년 우리나라 81개 도시 가구부문의 에너지원별 1인당 연간 이산화탄소 배출량을 비교하면 [표 3-4]와 같다. 1인당 평균 연간 2,195(kgCO₂)

의 이산화탄소를 배출하고 있으며, 석유와 도시가스가 약 34%, 전력이 27%, 자가용이 약 40%를 차지하는 것으로 나타났다. 에너지원별 도시 간 차이를 변동계수를 통해 비교해보면, 도시 간 가장 큰 차이를 나타내는 것은 석유와 도시가스 소비로 인한 이산화탄소 배출량의 차이이며, 이어 자가용, 전력의 순으로 나타났다. 석유·도시가스와 교통 부문의 에너지 소비가 전력에 비해 주택, 도로 등 물리적 환경에 더 많은 영향을 받는 점을 고려하면 도시 간 물리적 환경의 차이가 가구부문 이산화탄소 배출량 차이가 큰 영향을 미치고 있음을 유추할 수 있다.

81개 도시 가구부문의 에너지원별 1인당 이산화탄소 배출량 분포를 나타내면 [그림 3-1], [그림 3-2]와 같다. [그림 3-1]과 같이 가구부문의 이산화탄소 배출량을 주거와 자가용 이용 부문으로 나누어 보면, 주거부문 이산화탄소 배출량은 수도권 내 도시들의 배출량이 비수도권 도시들에 비해 더 적고, 비수도권에서는 5개 광역시들의 배출량이 다른 도시들에 비해 매우 적은 것으로 나타났다. 한편 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량은 서울을 비롯한 특·광역시들이 중소도시들에 비해 매우 적은 특징을 보여준다. 또한 수도권 내에서도 도시 간 편차가 크고, 비수도권에서는 배출량이 큰 도시와 작은 도시들이 인접하여 나타난다. 이는 수도권에서는 서울과 인접한 도시들은 자가용 이용에 따른 배출량이 매우 적지만 서울

[표 3-4] 도시 가구부문 에너지원별 1인당 이산화탄소 배출량 차이

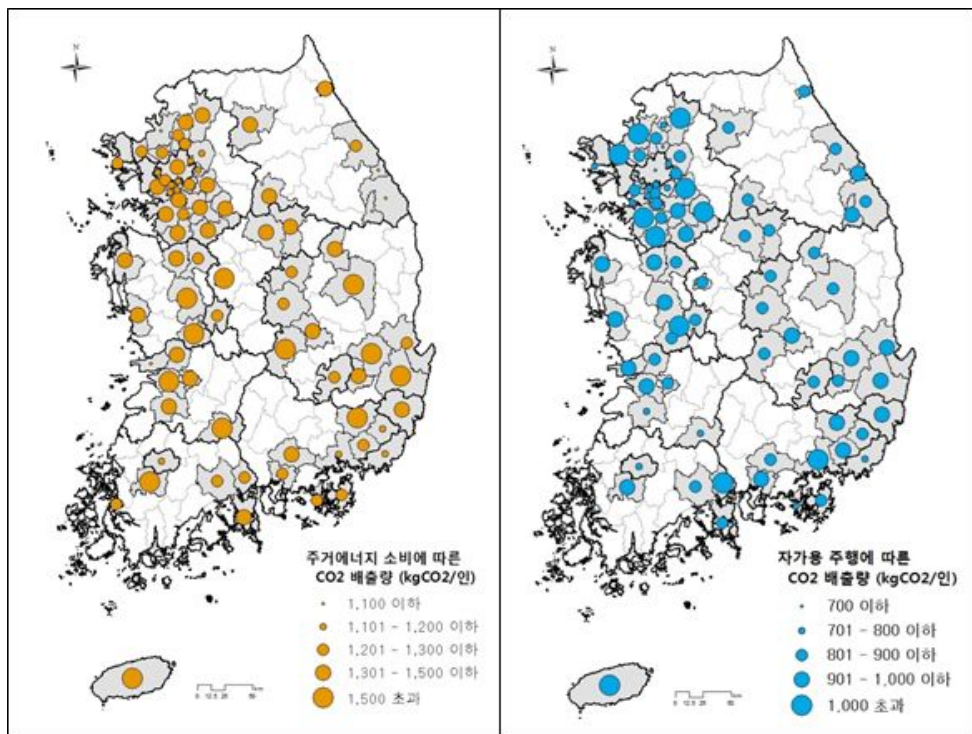
(단위:kgCO₂/인·년, %)

	평균	최소값	최대값	표준편차	변동계수
이산화탄소 배출량	2,195	1,793 (부천)	3,387 (나주)	259	0.12
석유·도시가스	740 (33.7)	334 (계룡)	1,876 (나주)	222	0.30
전력	581 (26.5)	513 (양주)	706 (제주)	34	0.06
자가용	873 (39.8)	623 (서울)	1,164 (경기 광주)	114	0.13

주. 변동계수=표준편차/평균

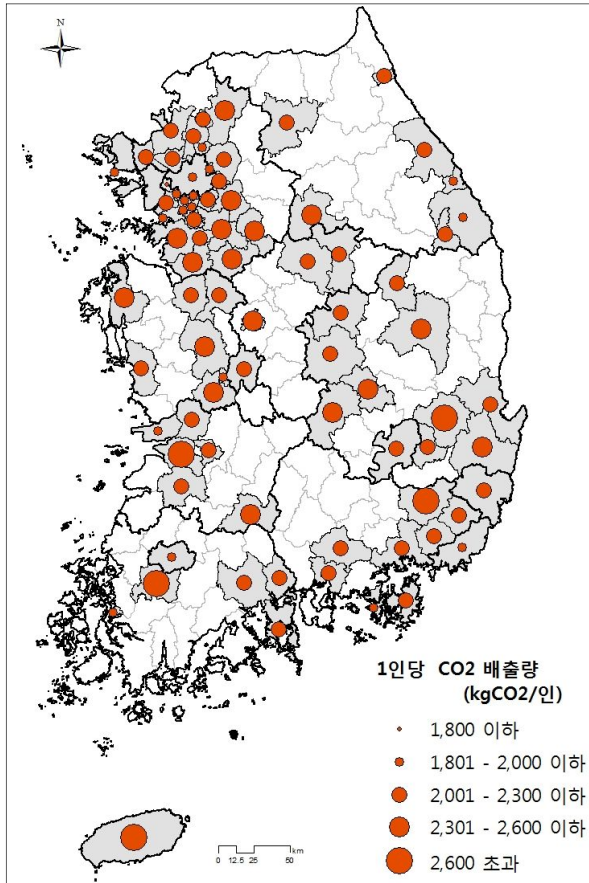
과 거리가 먼 도시들은 오히려 비수도권 도시들에 비해서도 많은 배출량을 보인다. 비수도권에서 광역시들은 배출량이 적으나 광역시들과 인접한 도시들의 배출량이 많다는 점은 대도시 통근권의 확장으로 인접 도시와 대도시 간 통근량의 증가가 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출의 중요한 원인일 것으로 볼 수 있다.

도시 가구부문의 1인당 이산화탄소 배출량 분포를 [그림 3-2]를 통해 보면 비교적 수도권 도시들이 비수도권 도시들에 비해 배출량이 적은 것을 볼 수 있다. 또한 총배출량의 분포가 주거에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량 분포와 매우 유사한 것을 알 수 있다. 이는 가구의 총이산화탄소 배출량에서 주거 부문이 차지하는 비율이 높기 때문이며, 가구의 이산화탄소 배출량 감소를 위해서는 주거 부문의 에너지 소비 감소가 필요함을 의미한다. 지역별로 보면 수도권 내 도시들의 이산화탄소 배출량이 적



[그림 3-1] 도시 가구부문 주거와 자가용 1인당 CO₂ 배출량 비교

[그림 3-2] 도시별 1인당 CO₂ 배출량 분포



[표 3-5] 도시 가구부문 1인당 CO₂ 배출량 상위 십분위

상위 십분위	평균 1인당 CO ₂ 배출량	도시명
10%	2,715	나주시, 김제시, 영천시, 제주도, 밀양시, 김천시, 경주시
20%	2,451	광주시, 공주시, 화성시, 구미시, 용인시, 포천시, 이천시, 안동시
30%	2,326	청주시, 평택시, 남원시, 서산시 원주시, 안성시, 김포시, 전주시
40%	2,261	익산시, 울산시, 시흥시, 제천시 광양시, 속초시, 창원시, 아산시
50%	2,200	보령시, 충주시, 수원시, 영주시 김해시, 천안시, 춘천시, 포항시
60%	2,130	경산시, 사천시, 진주시, 고양시 여주시, 강릉시, 순천시, 문경시, 상주시
70%	2,079	파주시, 정읍시, 양주시, 대구시 오산시, 대전시, 거제시, 동두천시
80%	2,004	하남시, 남양주시, 태백시, 양산시 성남시, 계룡시, 광주광역시, 동해시
90%	1,945	의왕시, 통영시, 군포시, 인천시 서울시, 목포시, 과천시, 군산시
100%	1,844	의정부시, 구리시, 광명시, 삼척시 안산시, 안양시, 부산시, 부천시

으나 수도권 내에서 지역 간 편차가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 또한 시·도내에서도 배출량이 큰 도시와 작은 도시가 혼재되어 나타나 동일 시·도내에서도 도시 간 큰 차이를 보이고 있다.

한편 [표 3-5]는 81개 도시를 가구부문 이산화탄소 배출량이 큰 순서로 한 십분위를 나타낸다. 1인당 이산화탄소 배출량이 가장 많은 상위 10% 도시들은 나주시, 김제시, 영천시 등이며 이 도시들은 1인당 연간 약 2.7(TonCO₂)의 이산화탄소를 배출하여, 배출량 가장 적은 도시들보다 약 1.5배 정도 많이 배출하는 것으로 나타났다. 도시들은 대부분 전라도와 경상도에 위치해있으며 광주시, 대구시, 전주시 등 지역의 인구 수위도시와 인접한 도시들이라는 공통점을 보이고 있다. 한편 수도권 내 도시들이 십분위의 상·하위에 고루 분포되어 있어 수도권 내 도시 간에도 도시의 입지 및 특성에 따라 이산화탄소 배출량이 매우 다르다는 것을 알 수 있다.

2. 도시 유형별 이산화탄소 배출량 차이

도시 가구부문의 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인들을 도출하기 위해 도시를 유사한 특성을 지닐 것으로 예상되는 집단으로 구분하여 이산화탄소 배출량을 비교하였다. 도시의 구분은 우선 도시의 입지 차이를 비교하기 위해 수도권과 비수도권으로 나누어 비교하였고, 이어 도시의 형태에 큰 차이를 보이는 일반시와 도농통합시를 구분하였다.

수도권(서울·인천·경기도)에는 서울, 인천을 포함한 29개의 도시가 있으며 비수도권은 제주특별자치도를 포함한 52개 도시가 있다. 가구부문의 1인당 이산화탄소 배출량은 주거와 자가용에서 모두 비수도권 도시들이 많은 것으로 나타났다(표 3-6 참조). 그러나 주거부문을 보면 석유와 도시가스는 비수도권지역이 많으나, 전력은 수도권 지역이 더 많은 것으로 나타나 주거부문에서도 에너지원별 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 비수도권이 수도권에 비해 주거 부문에서 이산화탄소 배출량이 많은 것은 전력으로 인한 배출량은 더 적으나, 석유와 도시가스 소비로 인해 배출량이 더 크기 때문에 전체적으로 주거부문에서 배출량이 더 많다는 점을 알 수 있다. 수

[표 3-6] 수도권과 비수도권 도시 간 평균 1인당 CO₂ 배출량 비교

(단위: kgCO₂/인)

			수도권	비수도권	t-검정 결과
지역수			29	52	
이산화탄소 배출량	가구 총 배출량		2,107	2,244	2.36**
	주거	합계	1,252	1,360	2.21**
		석유 도시가스	654	789	2.70***
		전력	597	572	-3.41***
	자가용		855	884	1.07

주. 평균차이검정은 수도권과 비수도권 집단 간 평균에 대한 t-검정 통계량임

, * : 유의수준 0.05, 0.01에서 유의함

도권과 비수도권 도시 간 1인당 이산화탄소 배출량의 평균 차이를 t-검정한 결과 자가용을 제외한 모든 에너지원별 이산화탄소 배출량의 차이가 유의한 것으로 나타나, 두 지역 간 이산화탄소 배출량의 차이가 자가용보다 주거부문에서 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 수도권과 비수도권 도시 간 차이는 수도권 도시에 에너지 효율이 좋은 아파트 등 공동주택이 더 많기 때문에 주거부문 에너지 소비가 적고, 대중교통이 잘 보급되어 있어 자가용 이용이 적기 때문으로 볼 수 있다. 또한 서울 등 수도권 도시가 탄소배출량이 적은 도시가스 사용비중이 큰 것도 석유·도시가스 소비로 인한 이산화탄소 배출량이 더 적은 이유로 볼 수 있다(부록 3 참조).

수도권과 비수도권 간 비교에 이어 도농통합시와 일반시 간 이산화탄소 배출량을 비교하면 [표 3-7]과 같다. 도농통합시는 광역시를 제외한 도시 중 2010년 현재 행정구역 내 읍 또는 면이 있는 도시로 구분하였으며, 총 52개 도시를 도농통합시로 분류할 수 있다(부록 4 참조). 도농통합시는 도시 내 농촌지역을 포함하고 있기 때문에 도시와 농촌의 생활양식이 혼재되어 나타나며, 일반시와는 인구구성 및 도시 형태에서 차이를 보인다(부록 5 참조). 도농통합시는 일반적으로 일반시에 비해 인구 밀도가 낮고, 아파트비율이 낮으며 상대적으로 도로는 많이 공급되어 있다. 또한 공동주

[표 3-7] 일반시와 도농통합시 간 평균 1인당 CO₂ 배출량 비교

(단위: kgCO₂/인)

			일반시	도농통합시	t-검정 결과
도시 수			29	52	
이산화탄소 배출량	가구 총 배출량		2,024	2,290	4.51***
	주거	합계	1,238	1,368	2.66**
		석유 도시가스	653	789	2.74***
		전력	585	579	-0.80
	자가용		786	922	6.27***

주. 평균차이검정은 일반시와 도농통합시 집단 간 평균에 대한 t-검정 통계량임

, * : 유의수준 0.05, 0.01에서 유의함

택비율이 적기 때문에 도시가스 보급률도 낮다.

지역 간 1인당 이산화탄소 배출량을 비교해 보면 주거와 자가용 모두 도농통합시가 일반시에 비해 많으며, 따라서 가구 총배출량에서 도농통합시가 일반시에 많은 것으로 나타났다. 그러나 주거 부문 내에서 보면 석유와 도시가스에서 이산화탄소 배출량은 도농통합시가 많으나, 전력에서 배출량은 일반시가 더 많은 것으로 나타나 수도권과 비수도권 비교와 마찬가지로 두 지역 간 주거 부문 내 에너지원별 배출량에 차이를 보이고 있다. 각 에너지원별 지역 간 평균 차이를 검정(t-검정)한 결과 전력을 제외한 모든 부문에서 차이가 유의한 것으로 나타났다. 즉 일반시와 도농통합시 간 차이는 주거에너지 중 석유·도시가스와 자가용에서 두드러지게 나타나며, 전력의 배출량에서 두 지역 간 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

제 3 절 이산화탄소 배출요인 분석

앞서 본 바와 같이 도시의 입지와 특성에 따라 가구부문의 이산화탄소 배출량은 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같은 차이는 도시 간 인구 및 가구 구성과 주택, 도로 등 물리적 환경의 차이에서 비롯된다. 다양한 도시 특

성 중 국내 가구의 이산화탄소 배출요인을 도출하기 위해, 이론 및 선행연구 고찰에서 나타난 가구의 에너지 소비요인들을 가구 특성, 주택 특성, 도시 행태 측면의 변수들을 선정하여 국내 81개 도시를 대상으로 가구부문의 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하였다²⁾.

1. 가구의 사회·경제적 특성

가구의 이산화탄소 배출량을 좌우하는 가장 큰 요인은 가구의 사회·경제적 특성이다. 특히 가구의 다양한 특성 중에서 특히 소득, 연령, 성별, 교육수준, 가구규모 등은 가구의 에너지 소비에 큰 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다(Guerin et al., 2000). 다양한 가구 특성 중 본 연구에서는 소득, 연령, 가구규모를 나타내는 지표를 선정하여 도시 가구부문의 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하였다. 가구에 에너지 소비는 곧 주거비용을 의미하기 때문에 소득은 에너지 소비량을 결정하는 가장 중요한 요인으로 알려져 있으며 연령은 가구의 에너지 소비량 및 소비 패턴에 영향을 주는 가구의 생애주기와 깊은 관련이 있다. 또한 가구규모는 가구가 소비하는 에너지의 규모의 경제 효과를 확인할 수 있는 지표로 최근 에너지 소비를 증가시키는 주요한 사회적 변화로 인식되고 있다.

우선 소득은 에너지 소비에 가장 중요한 요인이지만 아직까지 국내에서 지역별 가구 소득을 나타낼 수 있는 자료가 구축되어 있지 않기 때문에 재정자립도를 도시의 소득수준을 나타내는 대리변수로 사용하였다. 재정자립도는 지방자치단체의 전체 세입에 대한 자주 자원(지방세+세외수입)의 비율로 지방자치단체의 재정력을 나타내는 대표적인 지표로 지역경제력 및 경제 활성화와 깊은 관련이 있기 때문에(김성태, 2004) 도시의 경제력 및 소득수준을 나타내는 적합한 지표로 볼 수 있다.

한편 연령은 도시 인구의 연령구조를 나타내는 65세이상 인구비율을 지표로 사용하였다. 연령이 에너지 소비에 미치는 영향은 연령에 따른 주택 내 거주시간의 변화로 설명된다. 주로 은퇴를 기점으로 생활패턴과 에너지

2) 변수의 산출식과 자료 출처는 [부록 6] 참조

소비에 큰 변화가 있는 것으로 보고 있으나(Schipper et al, 1989) 개인마다 은퇴시점이 다르기 때문에 하나의 지표로 나타내는 것은 어려운 일이다. 지역 인구의 연령 구조를 나타내기 위해 국내에서는 주로 60세(명수정 외, 2010) 또는 65세(원두환, 2012)를 기준으로 고령인구를 구분하고 있다. 이에 본 연구에서는 일반적으로 도시와 지역의 노령화 지수의 기준으로 사용되는 65세를 도시의 연령구조를 나타내는 기준연령으로 하였다.

소득, 연령과 함께 최근에는 가구규모의 감소가 가구의 1인당 에너지 소비에 영향을 미치는 중요한 요인으로 주목 받고 있다(Williams, 2007). 특히 1인가구는 가구 규모가 큰 경우 여러 사람이 공유할 수 있는 에너지를 혼자 소비하기 때문에 1인당 에너지 소비를 증가시킨다. 이에 본 연구에서도 가구 규모가 지역 가구 부문의 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 파악하기 위해 도시의 총가구에서 1인 가구가 차지하는 비율을 가구규모를 나타내는 지표로 선정하였다.

가구특성 지표로 선정된 재정자립도(소득), 65세 이상 비율(연령), 1인가구 비율(가구 규모)의 도시 간 차이를 보면 [표 3-8]과 같다. 우리나라 81개 도시의 재정자립도 평균은 38.7%이며, 65세 이상 비율과 1인 가구 비율의 평균은 각각 12.6%와 24.1%이다. 그러나 각 지표별로 도시 간 차이는 매우 다르다. 지표별 지역 간 차이를 변동계수(CV: coefficient of

[표 3-8] 81개 도시 간 가구특성의 변이

(단위: %)

	평균	최소값	최대값	표준편차	변동계수
재정자립도	38.7	9.3 (남원)	85.8 (서울)	17.5	0.45
65세이상 인구비율	12.6	6.0 (오산)	27.7 (김제)	5.6	0.44
1인가구 비율	24.1	14.2 (남양주)	33.8 (경산)	4.8	0.20

주. 변동계수 = 표준편차/평균

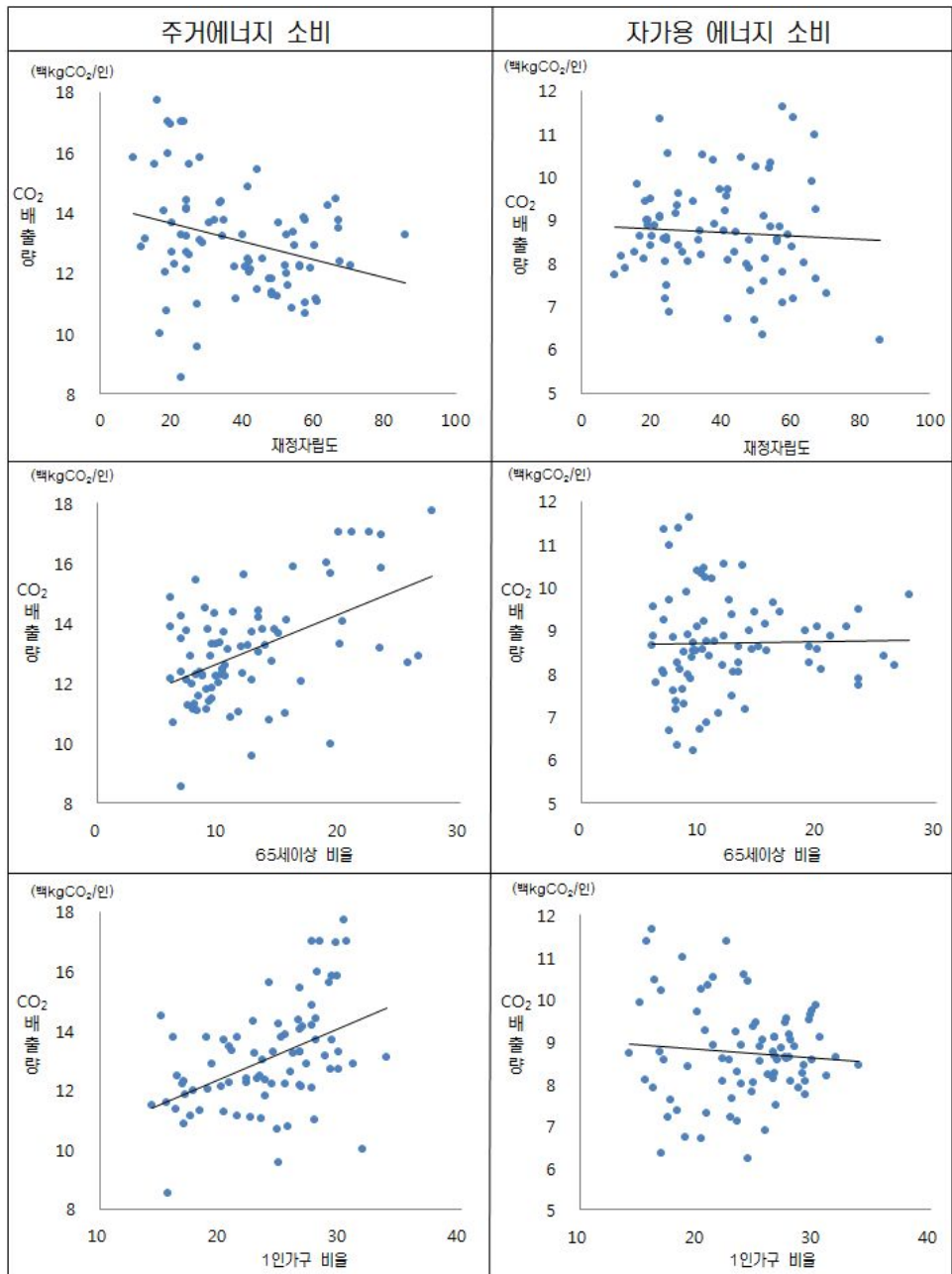
자료: 각 시도 2011 통계연보, 2010년 인구주택 총조사

variation)를 통해 보면, 변동계수는 재정자립도(0.45), 65세 이상 비율(0.44), 1인 가구 비율(0.20)의 순으로 큰 것으로 나타났다.

도시의 가구 특성을 나타내는 세 지표와 가구의 이산화탄소 배출량 간 관계를 산점도를 이용해 나타내면 [그림 3-3]과 같다. 재정자립도가 주거와 자가용의 1인당 이산화탄소 배출량과 음(-)의 관계를 나타내고 있으며, 자가용에 비해 주거부문에서 더 강한 상관관계를 보였다. 특히 재정자립도가 낮은 도시에서는 주거부문의 이산화탄소 배출량 차이가 크지만 재정자립도가 높아지면서 도시 간 차이는 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 주택의 물리적 특성에 영향을 많이 받는 주거부문의 경우, 소득수준이 높은 도시 간에는 주택 유형 및 노후도 등 주택의 물리적 특성의 차이가 크지 않기 때문으로 볼 수 있다.

한편 65세 이상 비율은 주거부문과는 정(+)의 관계를 갖고 있으나, 교통부문과는 큰 관계를 보이지 않아 두 부문과 서로 다른 관계를 보였다. 또한 1인 가구 비율이 높은 도시에서 1인당 주거 부문 이산화탄소 배출량이 많고, 교통 부문 1인당 이산화탄소 배출량은 적은 것으로 나타났다. 특히 자가용보다 주거 부문의 이산화탄소 배출량과 더 큰 상관관계를 보였으며, 이는 가구 규모에 따른 규모의 경제 효과가 자가용보다 주거 부문에서 더 크게 나타나고 있음을 보여준다.

주거와 자가용의 1인당 이산화탄소 배출량에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 소득, 연령, 가구 규모와 국내 도시 가구의 이산화탄소 배출량을 산점도를 통해 보면 세 가구 특성은 자가용에 비해 주거부문과 더 큰 관계가 있는 것으로 볼 수 있다. 주거 부문의 에너지 소비량이 주택의 물리적 특성에 큰 영향을 받는 것을 감안하면 가구특성과 주택 간의 관계가 매우 밀접한 관계가 있을 것으로 유추해볼 수 있다. 또한 세 가구 특성 모두 주거와 자가용에 서로 다른 관계를 보였다. 소득은 주거 부문 이산화탄소 배출량과 정(+)의 관계를 보였으나, 연령과 가구 규모는 반대의 부호를 나타내었고, 자가용의 이산화탄소 배출량에서는 세 가구 특성이 모두 약한 음(-)의 관계를 나타내고 있다.



[그림 3-3] 가구특성과 주거·자가용 에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량과의 관계

2. 주택 특성

가구의 사회·경제적 특성과 함께 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 중요한 요인은 거주하고 있는 주택, 자가용, 기반시설과 같은 물리적 환경 요인들이다. 주거에너지 소비에 영향을 미치는 물리적 환경은 난방 설비, 건축 재료와 주택 유형, 면적 등 주택 특성을 들 수 있다.

특히 주택의 열효율에 큰 영향을 미치는 주택 유형, 면적, 노후도 등이 주거에너지 소비에 영향력이 큰 요인으로 알려져 있다(Holden and Norland, 2005). 주택의 물리적 성능이 주거에너지에서 중요한 이유는 주거에너지 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 난방에너지 소비가 주택의 물리적 성능에 따른 열효율에 많은 영향을 받기 때문이다. 따라서 주택의 물리적 성능을 나타내는 지표 중 주택의 열효율에 큰 차이를 보이는 것으로 알려진 주택의 노후도와 유형을 주택특성 지표로 선정하였다.

우선 주택의 노후도를 측정하기 위해 에너지 열효율에 영향을 미치는 단열 기준을 노후도를 결정하는 기준으로 하였다. 우리나라에서 건물단열 의무화는 1979년 건축법의 관련 시행규칙에서 제정되었고, 이후 단열 기준이 점차 상향조정되었다. 2003년에는 전국을 3개 지역으로 구분하고 11개 건물 기능별 부위에 따른 단열재 규정을 강화·개정하였다. 주택의 단열이 의무화된 1979년 전후 주택의 주거에너지 소비를 비교할 수 있으나 1979년 이전에 건축된 주택이 도시 주택의 약 7.9%에 불과하기 때문에 (통계청, 2010) 그 영향력이 적은 것을 고려하여 단열재 규정이 강화된 2003년을 기준으로 2005-2010년 건축된 주택의 비율(통계청, 2010)을 도시의 주택 노후도 지표로 선정하였다.

한편 도시 간 주택유형의 비교를 위해 2010년 우리나라 주택유형의 약 절반을 차지하고 있으며(통계청, 2010) 최근 건축되고 있는 주택의 대부분을 차지하고 있는 아파트가 가구의 주거에너지 소비에 미치는 영향을 파악하기 위해 총 가구 중 아파트에 거주하는 가구의 비율을 도시의 주택유형 지표로 선정하였다.

또한 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 어떤 에너지를 쓰는가

에 따라 큰 차이를 보인다. 따라서 도시에 거주하는 가구부문 간 주택에서 사용하는 에너지원의 차이를 비교할 수 있는 도시가스 비중 지표를 선정하였다. 도시가스 비중은 도시별 석유와 도시가스 소비량 합계에서 도시가스가 사용하는 비중이다. 석유와 도시가스는 주택 내 에너지 소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 난방연료로 주로 사용되기 때문에³⁾ 도시가스 비중은 가구의 난방에너지 중 도시가스가 차지하는 비중이면서, 도시가스가 석유로 대체된 비율을 의미한다. 석유에 비해 도시가스의 탄소배출계수가 매우 작기 때문에 동일한 에너지 사용에도 도시가스의 비중이 높은 도시일수록 주거 부문에서 배출하는 이산화탄소 배출량은 적어진다.

주택특성의 세 지표의 도시 간 차이를 보면 [표 3-9]와 같다. 81개 도시의 약 16.7%의 주택이 2005-2010년 사이 지어진 주택이며, 약 50.3%의 가구가 아파트에 거주하고 있다. 도시가스 비중은 평균 52.7%로 도시가구가 사용하는 석유와 도시가스 소비량에서 도시가스가 절반 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 지역 간 차이를 보면 도시 가스 비중의 변동계수가 크게 나타나 지역별 차이가 가장 큰 것으로 나타났고, 이어 신규주택비율의 차이가 크고, 상대적으로 아파트 거주가구 비율의 도시 간 차이는 적은 것으로 나타났다. 즉 도시 간 주택 유형의 차이보다는 주택의 노후도와 에너지원(도시가스 비중)의 차이가 더 큰 것을 알 수 있다.

[표 3-9] 81개 도시 간 주택특성의 변이

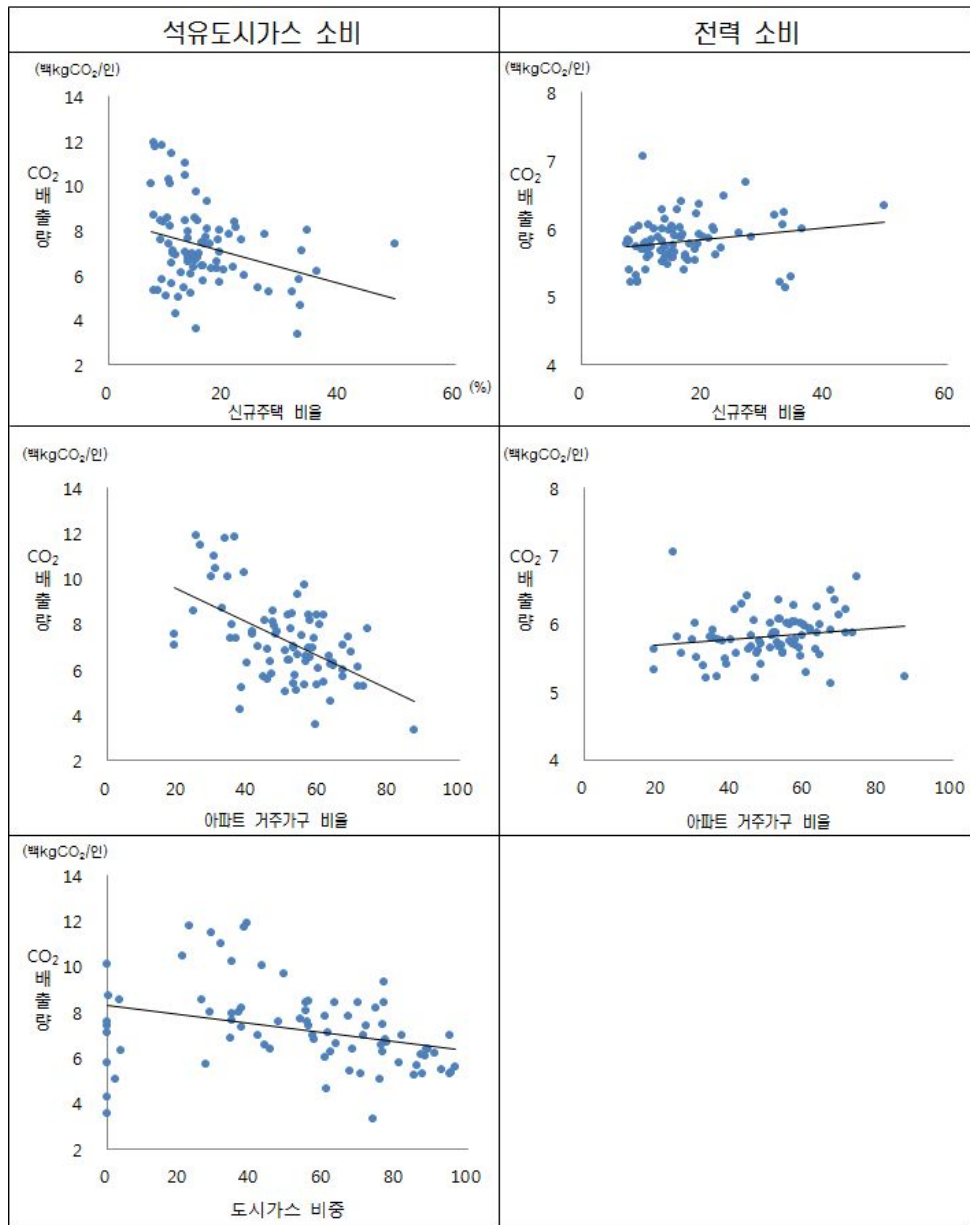
(단위: %)

	평균	최소값	최대값	표준편차	변동계수
신규주택비율	16.7	7.4 (남원)	49.8 (화성)	8.0	0.48
아파트 거주가구비율	50.3	19.1 (상주)	87.0 (계룡)	13.8	0.27
도시가스비중	52.7	0 (삼척)	96.5 (부천)	28.9	0.55

주. 변동계수 = 표준편차/평균

자료: 2010년 인구주택 총조사

3) 가정용 도시가스의 약 89.6%가 난방용으로 사용됨(한국도시가스협회, 2010)



[그림 3-4] 주택특성과 주거부문의 에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량과의 관계

주택의 노후도(신규주택비율), 유형(아파트거주가구비율)과 주거부문 이산화탄소 배출량 간 관계를 나타내면 [그림 3-4]와 같다. 신규주택 비율이 높은 도시일수록 석유와 도시가스 소비에 의한 1인당 이산화탄소 배출량이 적은 것으로 나타났으며, 이는 석유와 도시가스가 주택에서 주로 난방 연료로 사용된다는 점을 고려하면 신규주택일수록 열효율이 좋기 때문인 것으로 볼 수 있다. 반면 전력소비에 의한 배출량은 신규주택 비율과 약한 정(+)의 관계를 보였다. 한편 아파트 거주 가구 비율은 석유·도시가스 소비에 의한 1인당 이산화탄소 배출량과 강한 음(-)의 관계, 전력과 약한 정(+)의 관계를 보여 신규주택 비율과 같은 패턴을 보였다.

두 주택 특성과 이산화탄소 배출량 간 관계를 보면, 전력보다 석유 및 도시가스 배출량과 강한 음(-)의 상관관계를 갖고 있으며, 노후도보다 주택 유형이 이산화탄소 배출량과 더 강한 관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 한편 도시가스 비중이 높은 지역에서 이산화탄소 배출량이 적어 에너지원이 도시 간 가구 부문의 이산화탄소 배출량에 중요한 요인임을 알 수 있다.

3. 교통 기반시설

가구의 자가용 에너지 소비는 주거부문과 달리 주택 외부에서 자가용이라는 이동수단을 통해 소비되는 에너지이다. 따라서 가구의 자가용 이용행태와 이동을 위한 도로, 교차로, 대중교통, 주차장과 같은 교통기반시설이 가장 중요한 두 요인이라고 할 수 있다(Lin and Yang, 2004).

우선 가구의 자가용 이용행태는 자가용의 보유와 이용 횟수로 볼 수 있으며 보유와 이용횟수가 많을수록 가구의 교통부문 에너지 소비는 많아진다. 자가용 보유는 자가용에 대한 선호를, 이용 횟수는 자가용을 이용하는 교통수단 선택을 나타내며, 각각 가구 당 자가용 보유대수와 일일 자가용 이용 횟수(통계청, 2010)를 지표로 선정하였다.

한편 가구의 자가용 이용에 영향을 미치는 교통기반시설은 인구 1인당 도로 길이(m)와 대중교통 보급 수준을 나타내는 인구천명 당 대중교통종

사자수를 지표로 선정하였다. 인구 1인당 도로 길이는 자가용 이용을 위한 도로의 공급수준을 나타내며 도로 길이가 길수록 교통부문 에너지 소비량은 증가한다(Kenworth and Laube, 1996). 반면 대중교통의 보급은 자가용의 대체 이동수단으로 제공함으로써 자가용의 이용을 감소시키는 효과를 갖는다(Cervero and Murakami, 2010). 그러나 아직 우리나라에서는 시·군별 대중교통보급 수준을 나타낼 수 있는 지표가 없기 때문에 본 연구에서는 인구 천 명당 「전국사업체조사」의 세분류 중 ‘도시정기육상여객 운송업’의 종사자수를 대중교통보급 수준을 측정하는 지표로 선정하였다. 이 항목에는 도시의 대표적인 대중교통 수단인 지하철과 버스를 나타내는 도시철도 운송업, 시내버스 운송업, 기타도시정기육상여객운송이 포함되어있다. 따라서 인구 천 명당 도시정기육상여객 운송업 종사자수가 많을수록 상대적으로 대중교통 보급 수준이 높은 도시라고 할 수 있다.

도시 간 자가용 이용과 교통기반시설의 차이를 비교하면 [표 3-10]과 같다. 도시의 가구당 승용차 보유대수는 평균 0.6대이며 일일 승용차 이용 횟수는 약 0.6회로 나타났다. 한편 교통기반 시설의 인구 천 명당 대중교통종사자 수는 약 1.4명이며, 1인당 도로 길이는 평균 2.7m 이다. 네 지표의 도시 간 차이를 변동계수를 통해보면 자가용 이용 특성의 두 지표는

[표 3-10] 81개 도시 간 자가용 이용과 교통기반 시설의 변이

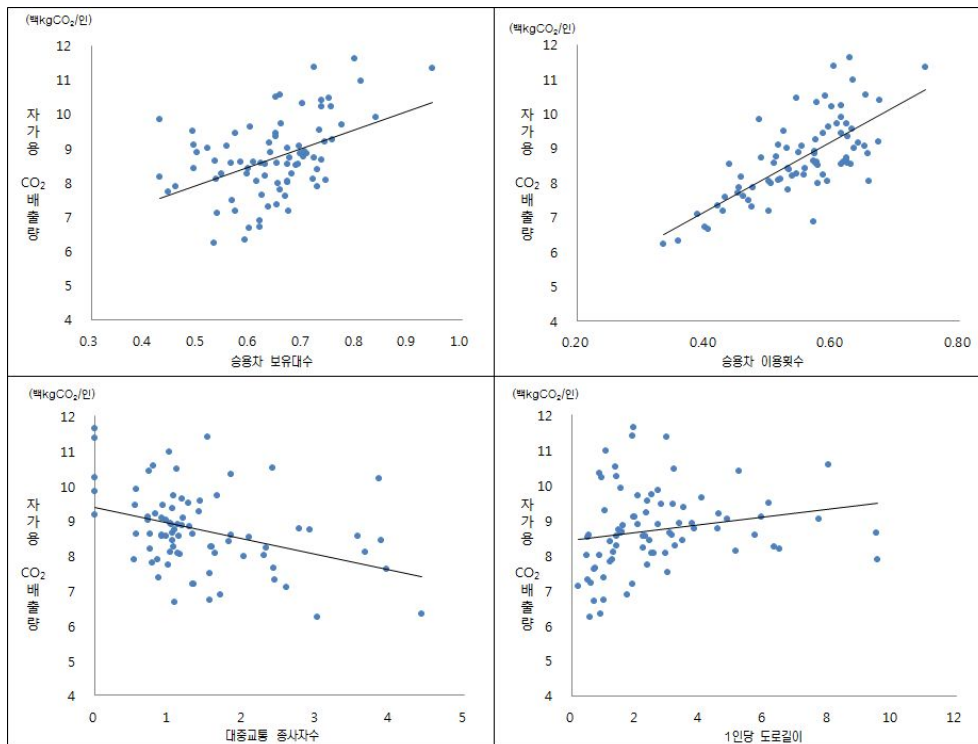
(단위: 대/가구, 회/일, 인, m/인)

		평균	최소값	최대값	표준편차	변동계수
자가용 이용 특성	가구당 승용차보유대수	0.6	0.4 (나주)	0.9 (계룡)	0.1	0.16
	승용차이용횟수	0.6	0.3 (서울)	0.7 (계룡)	0.1	0.15
교통 기반시설	인구천명당 대중교통종사자수	1.4	0.0 (김제)	4.4 (광명)	1.0	0.67
	1인당 도로길이	2.7	0.2 (부산)	9.5 (정읍)	2.1	0.78

주. 변동계수 = 표준편차/평균

자료: 각 시도 2011 통계연보, 2010년 인구주택 총조사, 2010년 전국사업체조사

0.16, 0.15로 유사한 변동계수 값을 보였고, 교통기반 시설 지표의 변동계수(0.67, 0.78)보다 작은 값을 나타내 도시 간 자가용 이용특성보다 교통기반시설의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 가구의 자가용 이용 및 교통기반시설과 가구의 자가용 1인당 이산화탄소 배출 간 관계를 보면 [그림 3-5]와 같다. 우선 가구의 자가용 보유와 이용횟수는 가구의 이산화탄소 배출량과 매우 강한 정(+)의 관계를 보여 자가용 이용 특성이 이산화탄소 배출량에 중요한 지표임을 알 수 있다. 한편 대중교통 보급수준이 높은 도시에서 자가용에 의한 이산화탄소 배출량이 적고 1인당 도로 길이가 긴 도시에서 배출량이 많은 것으로 나타나 도시의 두 교통기반시설들이 자가용에 의한 이산화탄소 배출량에 반대의 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



[그림 3-5] 자가용이용 및 교통기반시설특성과 자가용에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량 관계

4. 도시 밀도

주택과 교통기반시설은 각각 주거와 자가용 이용에 의한 이산화탄소 배출에 큰 영향을 미치는 물리적 환경 요인들이다. 한편 두 물리적 요인은 도시를 구성하는 요소로써 도시의 형태, 공간 구조, 입지와 같은 도시 특성에 영향을 받는다. 이는 가구의 주거와 자가용 에너지 소비 역시 도시의 사회·물리적 특성에 간접적인 영향을 받는다는 것을 의미한다(Perkins et al., 2009; van de Weghe and Kennedy, 2007).

도시의 물리적 환경 지표는 밀도, 다양성, 디자인 등이 주로 사용되어 왔으며(Ewing and Cervero, 2010) 그 중 밀도는 주거 및 교통 부문의 에너지 소비에 영향을 주는 대표적인 도시 형태 지표로 알려져 있다. 일반적으로 밀도의 증가는 대중교통 서비스 보급을 용이하게 하고, 이동거리를 줄이기 때문에 교통에너지 소비를 감소시키고(Holden and Norland, 2005), 아파트와 같은 공동주택의 증가로 주택의 고층화를 유도하여 주거 에너지 소비를 감소시키는 것으로 알려져 있다.

도시의 밀도는 인구, 주거, 사업체, 고용 등 다양한 측면에서 측정이 가능하다. 그러나 고밀 도시는 상대적으로 좁은 공간 내에 건물들이 입지하기 때문에 한 도시에서 각 지표들이 서로 다른 경향을 나타내기보다 주거, 상업, 산업 등 모든 측면에서 고밀화가 나타난다고 볼 수 있다(부록 7 참조). 따라서 밀도의 측정 지표 중 국내·외 선행연구에서 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 중요한 요인으로 나타나고 있는 인구밀도를 도시의 밀도를 나타내는 대표 지표로 선정하였다. 도시의 인구밀도는 시가화면적의 인구밀도(순인구밀도) 측정을 위해 주거, 상업, 공업지역 면적 대비 인구수로 측정하였다.

우리나라 도시의 인구밀도 차이를 보면 [표 3-11]과 같다. 도시의 평균 인구밀도는 12,405명/km²이며, 밀도가 가장 높은 도시(부천)는 가장 낮은 도시(광양)에 비해 14배 이상 높은 밀도를 보였다. 도시 인구밀도의 변동계수는 0.54로, 다른 지표들의 변동계수와 비교해볼 때 상대적으로 높은 값으로 나타나 도시 간 인구밀도의 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

[그림 3-6]은 도시의 인구밀도와 가구의 에너지원별 1인당 이산화탄소 배출량과의 관계를 산점도로 나타낸 것이다. 우선 인구밀도가 높은 도시일 수록 가구의 1인당 이산화탄소 배출량은 적어지는 것으로 나타나 고밀 도시가 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 도시형태임을 보여준다. 에너지원 별로 보면 인구밀도가 높을수록 자가용과 석유·도시가스 소비에 의한 이산

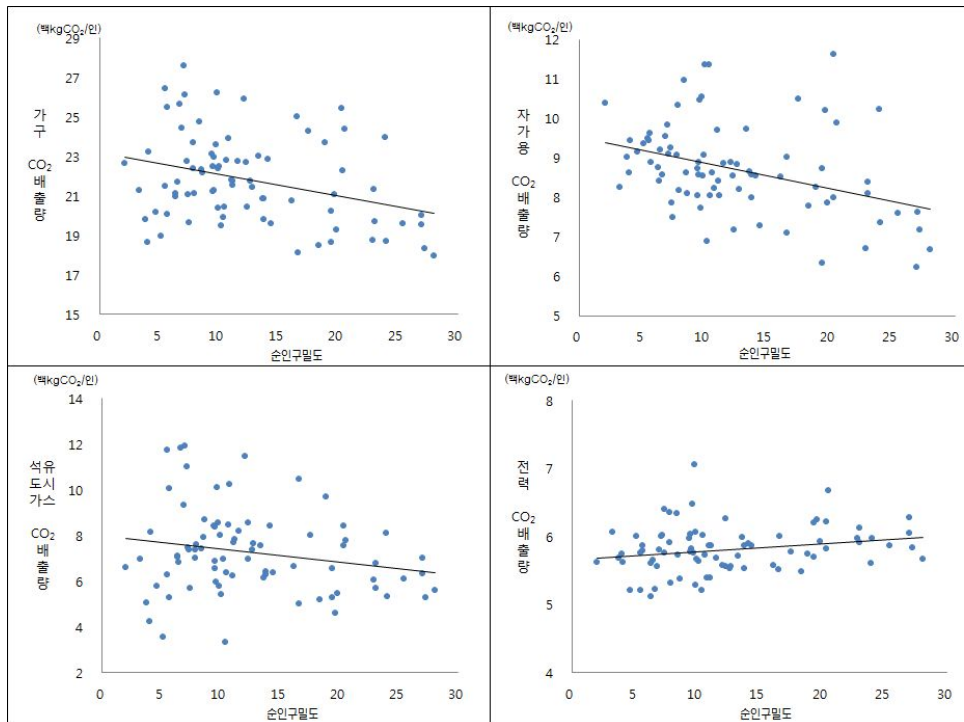
[표 3-11] 81개 도시 간 순인구밀도의 변이

(단위: 인/km²)

	평균	최소값	최대값	표준편차	변동계수
순인구밀도	12,405	2,029 (광양)	28,066 (부천)	6,637	0.54

주. 변동계수 = 표준편차/평균

자료: 각 시도 2011 통계연보, 2010년 인구주택 총조사



[그림 3-6] 순인구밀도와 주거·교통부문에서의 1인당 CO₂ 배출량과의 관계

화탄소 배출량이 적고 전력에 의한 배출량은 다른 에너지원과 반대로 더 많은 것으로 나타나 인구밀도가 에너지원별 이산화탄소 배출량에 미치는 영향이 다를 것을 보여준다. 이는 석유 및 도시가스가 주로 난방용 연료로 사용되고 가정용 전력 소비에서 냉방에너지가 가장 큰 비중을 차지하는 점을 고려하면, 고밀도시에서는 열섬현상으로 인해 난방에너지 소비는 감소하지만 냉방에 의한 에너지 소비가 증가한다는 연구결과와(Ewing and Rong, 2008) 유사한 결과라고 할 수 있다. 한편 밀도와 자가용 이산화탄소 배출량 간 관계가 가장 뚜렷한 음(-)의 관계를 보인 점은 고밀도시가 자가용 이용을 줄인다는 국내·외 선행연구 결과를 뒷받침하며, 또한 주거 에너지에 비해 자가용의 에너지 소비가 도시 형태에 더 많은 영향을 받고 있음을 보여준다.

제 4 절 소 결

본 장에서는 국내 도시 가구부문의 이산화탄소 배출량 차이를 분석하여 가구의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 도출하였다. 이를 위해 먼저 국내에서 가구의 에너지 소비량을 파악할 수 있는 자료를 검토하고 81개 도시의 가구부문 에너지 소비량 자료를 구축하였다. 가구의 에너지 소비는 에너지원과 용도를 고려하여 석유·도시가스, 전력, 자가용 에너지 소비량으로 구분하고 에너지원별 이산화탄소 배출량을 산출하였다.

가구의 이산화탄소 배출요인 분석은 국내 도시의 가구부문을 대상으로 먼저 도시 간 환경의 차이가 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 분석하기 위해 81개 도시를 유사한 사회·경제적 특성을 갖는 집단으로 구분하고 집단 간 도시환경과 에너지원별 이산화탄소 배출 특성을 비교하였다. 도시를 수도권과 비수도권, 일반시와 도농통합시로 구분하면 수도권 도시와 일반시는 전력 소비에 의한 이산화탄소 배출량이 비수도권 도시와 도농통합시에 비해 많고, 반대로 비수도권 도시와 도농통합시에서는 석유·도시가스와 자가용에서 이산화탄소 배출량이 많은 특징을 보였다. 이는 수도권 내

도시와 일반시가 각각 비수도권 내 도시와 도농통합시에 비해 인구 및 가구 구성과 주택, 도로 등 기반시설이 다르기 때문에 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 차이가 있는 것으로 볼 수 있다.

한편 가구부문의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 도출하기 위해 가구특성, 주택특성, 교통기반시설, 그리고 도시 형태 측면에서 에너지 소비요인을 선정하여 이산화탄소 배출량과의 관계를 분석하였다. 가구 특성 중 소득은 주거 부문 이산화탄소 배출량과 정(+)의 관계를 보였으나 연령과 가구 규모는 음(-)의 관계를 나타냈다. 물리적 환경에서 주택 유형과 노후도 그리고 교통기반시설 등도 주거와 자가용의 이산화탄소 배출량과 유의한 관계를 나타냈다. 신규주택과 아파트가 많을수록 이산화탄소 배출량이 적고, 대중교통보급수준이 높은 도시일수록 자가용의 이산화탄소 배출량이 적은 것으로 나타났으며, 고밀도시에서 가구의 총이산화탄소 배출량은 적었다. 그러나 세부적으로 보면 고밀도시에서 자가용과 석유·도시가스의 이산화탄소 배출량은 적으나 전력 이산화탄소 배출량은 많아 에너지원에 따라 차이를 보였다.

우리나라 도시 가구부문의 이산화탄소 배출량 차이를 분석한 결과 도시의 인구 및 가구 구성뿐만 아니라 주택, 도로 등 기반시설이 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 도시가스 등 집단에너지 사용 비중이 도시 가구부문 이산화탄소 배출량 차이에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이와 더불어 가구부문의 이산화탄소 배출량을 에너지원별로 구분해 보면, 도시의 사회·경제적, 물리적 특성이 에너지원별 이산화탄소 배출량에 미치는 영향이 다르다는 점을 알 수 있다. 이는 도시의 가구부문 이산화탄소 배출량 변화 요인을 이해하고, 효율적인 이산화탄소 배출 감축 정책 수립을 위해서는 에너지를 용도와 에너지원에 따라 구분한 세분화된 분석이 필요하다는 것을 의미한다. 또한 도시 특성들이 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 미치는 영향력을 분석하기 위해서는 다양한 요인들이 세분화된 에너지원 각각에 미치는 영향력을 통합적으로 분석하는 연구가 필요함을 알 수 있다.

제 4 장 가구부문의 이산화탄소 배출구조 분석

본 장에서는 이론 및 선행연구 고찰 그리고 국내 이산화탄소 배출량 자료 분석을 통해 도출된 에너지 소비요인이 가구부문의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 구조를 설정하고 이를 실증분석 하였다.

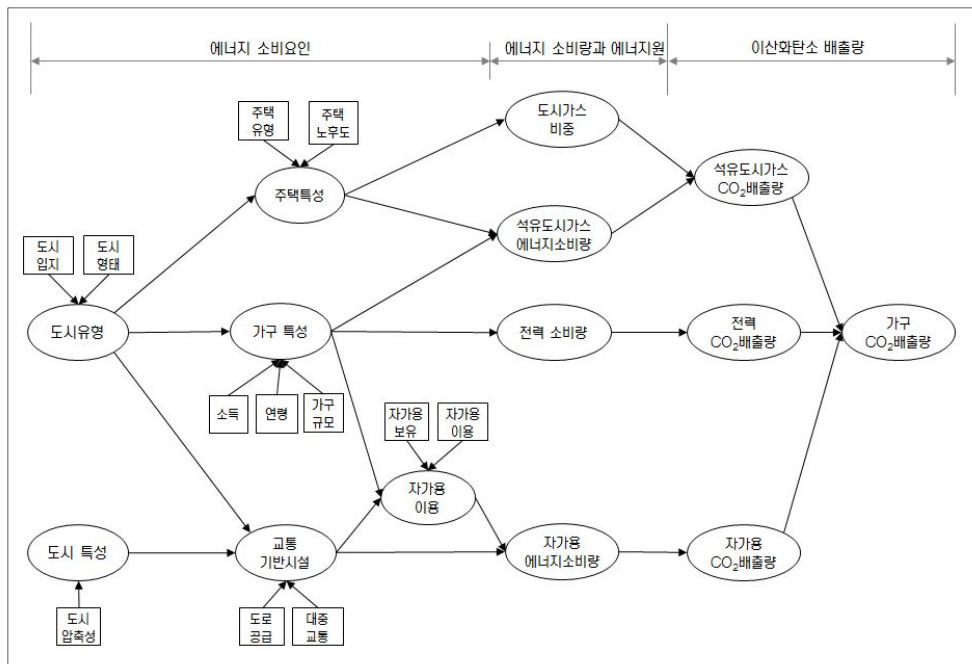
가구부문의 이산화탄소 배출량 차이를 결정하는 주요 요인은 에너지 소비량과 에너지원으로 볼 수 있으며, 에너지 소비량은 에너지 소비가 이산화탄소 배출량에 미치는 양적(quantity) 효과, 에너지원은 단위 소비량에 따른 탄소 배출량을 나타내는 에너지 소비의 질적(quality) 효과라고 할 수 있다. 즉 가구, 주택, 도시 등의 에너지 소비요인들은 가구부문의 에너지 소비량과 에너지원을 통해 이산화탄소 배출량에 간접 영향을 미치게 된다.

따라서 가구부문의 이산화탄소 배출구조는 에너지 소비요인들이 가구의 에너지 소비와 에너지원에 영향을 미치는 직·간접 경로를 설정하고 이에 따른 이산화탄소 배출량을 분석할 수 있는 모형을 설정하였다. 실증분석은 2010년 국내 81개 도시의 가구부문 에너지 소비와 이산화탄소 배출자료를 이용하여 각 요인들이 에너지원별 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 추정하고 분석 결과를 토대로 에너지 소비요인의 변화에 따른 이산화탄소 배출량 증감을 예측하였다.

제 1 절 분석 모형

1. 이산화탄소 배출구조 설정

가구부문의 이산화탄소 배출구조는 크게 에너지 소비구조와 에너지원별 이산화탄소 배출량으로 나누어지며, 에너지 소비구조는 에너지 소비요인과 에너지 소비량 및 에너지원의 두 부문으로 나누어진다. 에너지 소비구조는 에너지 소비요인들이 에너지 소비량과 에너지원에 미치는 직·간접적인 영



향을 나타내며, 이에 따라 가구부문의 에너지원별 이산화탄소 배출량이 변하게 된다. 또한 에너지 소비구조는 에너지 소비요인들이 에너지원별 소비량에 미치는 영향이 다른 점을 고려하여 가구의 석유·도시가스, 전력, 자가용 에너지 소비량 미치는 영향을 구분하여 분석할 수 있도록 모형을 구축하였다(그림 4-1 참조).

에너지 소비요인들은 크게 가구특성, 주택 특성, 교통기반시설, 자가용 이용, 도시유형 그리고 도시특성으로 구분하였다. 가구특성은 소득, 연령, 가구 규모와 같은 가구의 사회·경제적 특성을 나타낸다. 특히 자가용 이용에 의한 에너지 소비가 가구의 자가용 보유와 이용에 크게 좌우되는 점을 고려하여 자가용에너지 소비에 영향을 주는 직접적인 가구 특성으로 자가용이용 특성을 구분하여 포함하였다. 주택특성, 교통기반시설은 주택, 자동차, 도로 등 에너지 소비 공간과 기반시설을 의미한다. 주거와 자가용 이용이 서로 다른 공간에서 에너지가 소비되기 때문에 가구특성과 달리

두 에너지 소비에 영향을 미치는 물리적환경이 다르다. 따라서 두 부문의 물리적 환경을 각각 주택의 유형과 노후도를 나타내는 주택특성과 도로와 대중교통보급 수준을 나타내는 교통기반시설로 구분하였다. 도시유형은 도시의 입지, 도시계획·정책 등 좀 더 큰 스케일에서 가구가 거주하고 있는 도시환경의 차이를 나타낸다. 그리고 국내·외 선행연구에서 가구의 자가용 이용과 큰 관련이 있는 것으로 나타난 도시특성 중 도시의 압축도를 자가용 이용에 영향을 미치는 요인으로 포함하였다. 또한 도시특성 요인들이 가구의 주거와 자가용 에너지 소비에 미치는 영향이 다른 점을 고려하여 도시유형은 주거와 자가용에 모두 영향을 미치지만, 도시의 압축도는 주택 내 에너지 소비와는 뚜렷한 관계를 보이지 않기 때문에 자가용 에너지 소비에만 영향을 미치는 것으로 구조를 설정하였다.

가구부문의 에너지 소비를 보면, 주거에너지 소비는 석유·도시가스 소비량과 전력 소비량으로 나누어볼 수 있으며, 석유와 도시가스는 주로 난방·취사·온수 등에 사용되는 에너지이고 전력은 냉방·조명·전기 기기 등에 의해 소비된다. 두 에너지 소비에 영향을 미치는 직접 소비요인은 가구 에너지 소비행태를 나타내는 가구특성과 주택의 열효율에 영향을 미치는 주택특성으로 볼 수 있다.

우선 가구특성은 주거에너지 소비량을 결정하는 가장 중요한 요인으로 알려져 있다. 이는 가구의 사회·경제적 특성에 따라 에너지 소비행태가 다르기 때문이다. 특히 가구특성에 따른 주거에너지 소비의 차이는 주로 소득, 연령, 성별, 직업과 같은 사회·경제적 특성에 따라 주택 내 거주 시간이 다르기 때문에 나타난다. 예를 들어 미취학 아동이나 고령자는 주택 내 거주 시간이 많기 때문에 다른 연령층에 비해 주거에너지 소비가 많고 (Guerin et al., 2000), 전업주부는 직장 여성에 비해 더 많은 전력을 소비하며(김유란 외, 2011), 가구규모가 작을수록 1인당 에너지 소비량은 증가한다(Williams, 2007). 가구특성과 함께 두 에너지 소비 모두 주택 내에서 소비되는 에너지로 주택의 물리적 성능 특히 열효율에 많은 영향을 받는다. 주택의 열효율은 단열재, 창문크기, 난방 설비 등 건물의 재료와 설비 뿐 아니라(배민호 외, 2008), 주택 유형, 면적 등 주택의 물리적 형태에도

영향을 받는다(Druckman and Jackson, 2008; Wende et al., 2010).

가구특성과 주택의 물리적 성능이 석유·도시가스와 전력소비에 모두 중요한 요인이나, 석유·도시가스는 주택의 성능에, 전력은 가구 특성에 더 많은 영향을 받는다. 이는 석유·도시가스와 전력은 에너지를 소비하는 기기와 이용 방식에 차이가 있기 때문이다. 석유·도시가스는 주택에 설치된 냉·난방 설비에 의해 소비되는 에너지이기 때문에 거주하는 인원 수에 상관없이 동일한 양의 에너지가 소비되고, 주택 내에 사람이 있는 동안에만 에너지가 소비된다. 따라서 가구원들의 거주 시간이 길수록 에너지 소비가 많고, 주택 내에 많은 인원이 있을수록 1인당 에너지 소비가 줄어드는 규모의 경제 효과를 누릴 수 있다. 그러나 전력은 가구가 이용하는 기기의 크기와 보유 대수에 많은 영향을 받고, 주택 내에 거주하는 사람이 없어도 대기전력으로 인해 에너지가 소비된다(Gram-Hanssen, 2009). 또한 소득이 높아지고 가구원수가 증가함에 따라 전기 기기의 용량이 커지고 보유 대수는 더 많아지기 때문에, 가구규모가 크더라도 규모의 경제 효과를 누릴 수 없어 1인당 전력 소비는 오히려 증가한다(서현철 외, 2012).

또한 석유·도시가스와 전력 소비에 의한 이산화탄소 배출구조에서 큰 차이는 에너지원이다. 전력은 전국의 모든 시·군에 동일하게 공급되는 에너지이기 때문에 지역 간 에너지원에 차이가 없다. 그러나 석유·도시가스는 지역별로 도시가스가 공급된 정도에 따라 동일한 양의 에너지를 소비하더라도 이산화탄소 배출량은 큰 차이를 보이게 된다. 도시가스와 같은 집단 에너지는 배관 등의 기반 시설이 설치되어야 하기 때문에 연료를 사용 가구가 일정 이상 밀집되어 있어야 공급이 가능하다. 따라서 주택 밀도가 높은 지역에서 도시가스 공급이 원활하고, 단독주택보다는 아파트와 같은 공동주택의 도시가스 공급이 쉽다. 즉 주거에너지원은 거주 지역의 밀도와 주택 형태가 공급의 중요한 요인이 된다.

한편 자가용 이용에 따른 에너지 소비는 주거에너지와는 소비 공간과 활동목적이 다르기 때문에 소비요인에 차이가 있다. 우선 자가용은 주택 외부에서 소비하는 에너지이기 때문에 주택의 영향을 덜 받고, 이동을 목적으로 하기 때문에 이동에 필요한 도로, 대중교통 서비스와 같은 기반시

설의 영향을 많이 받는다. 따라서 자가용 에너지 소비요인은 크게 가구의 자가용 이용 행태와 교통기반시설로 나누어 볼 수 있다(송기욱·남진, 2009). 자가용 이용 행태는 가구의 소득, 연령, 생애주기별 자가용에 대한 선호와 이동 특성에 따라 차이를 보이는 소비 요인이며, 교통기반시설은 자가용 이용을 제약하는 물리적 환경으로 국내·외 선행연구들에 따르면 도로, 자동차 접근성, 대중교통서비스 등이 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 도로 길이 증가는 자가용 이용률을 높이기 때문에 에너지 소비량을 증가시키고(신상영, 2004; Kenworth and Laube, 1996), 대중교통의 보 급은 가구의 이동 수단 선택에 영향을 주어 자가용 이용을 감소시킨다 (Cervero and Murakami, 2010; Lin and Yang, 2009).

도시유형은 도시의 입지, 기반시설 등 물리적 환경과 정책 등 사회·경제적 특성을 모두 포함하는 소비 요인으로 가구의 에너지 소비에 간접적이며 장기적인 변화를 이끈다(Hitchcock, 1993). 도시계획과 같이 주택이나 교통기반시설의 공급을 직접적으로 규제하는 제도들은 중요한 에너지 소비요인이 되며(Glaeser and Kahn, 2010). 도시의 공간구조와 형태도 가구의 에너지 소비행태에 영향을 미치는 중요한 도시환경요인으로 알려져 있다(Ewing and Cervero, 2010). 또한 국내 도시를 수도권과 비수도권, 일반시와 도농통합시로 구분하여 집단 간 비교한 결과(표 3-13, 14 참조)와 같이 도시의 입지와 형태에 따라 주민의 연령구조 및 가구 규모와 같은 가구특성들이 다르게 나타나며, 아파트 비율, 신규주택 비율 등 주택 특성에서도 뚜렷한 차이를 보인다. 이는 도시입지, 형태 등 도시특성에 따라 인구구성과 주택 그리고 교통기반시설 보급수준이 영향을 받고 있다는 것을 나타낸다.

대표적인 도시형태 지표로써 도시의 압축도는 주거에너지보다 자가용 이용에너지 소비에 더 중요한 요인으로 알려져 있다. 주거에너지가 주택 내 활동에 의해 에너지 소비가 이루어지는 반면 자가용은 도시내외를 이동해야하기 때문에 이동수단 선택과 이동거리에 영향을 미치는 압축도와 관련이 깊은 것으로 볼 수 있다. 그동안 국내·외 선행연구에 따르면 압축 도시는 이동거리를 줄이고, 대중교통서비스의 공급을 늘려 자가용 이용을

줄이기 때문에 교통에너지 소비를 줄이는 도시 형태로 알려져 있다(송기욱·남진, 2009; Cervero and Murakami, 2010; Liu and Shen, 2011; Lin and Yang, 2009). 밀도가 낮은 지역은 이용객은 적은 반면 넓은 지역을 담당해야하기 때문에 지하철, 버스 등 효율이 낮아 대중교통서비스의 충분한 공급이 어렵다. 따라서 밀도가 낮고 확산된 형태의 도시는 고밀도시에 비해 자가용 이용이 더 많다.

2. 변수 선정

앞서 구축한 가구부문의 이산화탄소 배출구조 모형을 국내 81개 도시의 가구부문을 대상으로 분석하기 위해 제3장에서 에너지원별 이산화탄소 배출량과 관계있는 것으로 나타난 변수들을 에너지 소비요인으로 선정하였다(표 4-1 참조). 가구부문의 이산화탄소 배출량은 도시의 에너지원별 소비량을 이용해 산출하였으며, 가구의 에너지 소비는 에너지원을 고려하여 석유·도시가스, 전력, 자가용 에너지 소비로 구분하였다. 도시 가구 간 에너지 소비 차이는 가구의 에너지 소비행태를 파악하는데 용이한 1인당 배출량을 원단위로 비교하였다.

도시 특성은 이산화탄소 배출량에 차이를 보인 수도권과 비수도권, 일반시와 도농통합시 효과를 나타내는 더미(dummy)변수를 선정하였으며, 밀도는 도시의 압축도를 나타내는 대표적인 지표인 순인구밀도(총인구/도시지역 면적)를 선정하였다. 주택 특성은 신규주택비율, 아파트 거주 가구 비율 그리고 주택에서 사용하는 에너지원의 차이를 나타내기 위한 도시가스 비중으로 구성하였으며, 가구 특성은 재정자립도(소득의 대리변수), 고령인구 비율, 1인 가구 비율을 변수로 선정하였다. 가구의 자가용 이용행태를 나타내는 자가용 이용특성은 자가용 보유대수와 이용횟수, 교통기반시설은 1인당 도로 길이와 대중교통보급 수준을 변수로 선정하였다.

[표 4-1] 가구부문의 이산화탄소 배출구조모형에 투입된 변수들과 예상부호

잠재변수	측정 지표	변수	단위	예상부호		
				석유 도시가스	전력	자가용
1인당 CO ₂ 배출량 (에너지 소비량)		합계	kgCO ₂ /인 (TOE/인)			
		석유·도시가스				
		전력				
		자가용				
도시유형		수도권	-	(-)	(+)	(-)
		일반시	-	(-)	(+)	(+)
도시특성		순인구밀도	인/km ²	(-)	(+)	(-)
주택특성	주택 노후도	신규주택비율	%	(-)	(+)	
	주택 유형	아파트 거주 비율	%	(-)	(+)	
	에너지원	도시가스 사용 비중	%	(-)		
가구특성	소득수준	재정자립도	%	(-)	(+)	(+)
	연령	65세이상 비율	%	(+)	(-)	(-)
	가구규모	1인 가구 비율	%	(+)	(-)	(+)
자가용 이용	자가용 보유	승용차 보유대수	대/가구			(+)
	자가용 이용	승용차 이용횟수	회/인			(+)
교통 기반시설	도로공급	1인당 도로 길이	m/인			(+)
	대중교통	천명당 정기여객종사자수	인/천인			(-)

주: 지표의 산출식은 [부록 4] 참조

자료: 2010 인구주택 총조사, 전국사업체조사, 2011 시도별 통계연보

제 2 절 분석 방법

1. 분석 방법 선정

가구의 에너지 소비에 관심을 둔 연구들의 경우 다양한 요인들이 에너지 소비량에 미치는 직·간접 영향을 분석하기 위해 구조방정식과 경로분석을 이용한 연구들이 증가하고 있다. 구조방정식은 다수의 지표들을 묶어 유사한 몇 개의 잠재변수로 통합한 뒤, 잠재변수 간 인과관계를 분석하기 때문에 많은 수의 요인을 포함해야하는 경우 유용한 분석 방법으로 알려져 있다(이희연·노승철, 2012; Esposito Vinzi et al., 2010). 본 연구에서 설정한 이산화탄소 배출구조는 각 요인들이 에너지 소비와 에너지원 그리고 이산화탄소 배출량에 미치는 직·간접 영향력을 추정하는데 목적이 있기 때문에 이를 위해 다양한 에너지 소비요인 간 인과관계를 설정하고 분석하는데 적합한 구조방정식을 분석 방법으로 선정하였다.

구조방정식은 크게 공분산 기반 구조방정식(CB-SEM: Covariance Based-Structural Equation Model)과 PLS-구조방정식(PLS-SEM: Partial Least Square)으로 나뉜다. 그러나 PLS-SEM에 비해 CB-SEM이 널리 사용되고 있으나, 다변량 정규성(multivariate normality) 가정을 준수하여야 하며, 비교적 큰 표본이 있는 경우에만 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있기 때문에 사용에 제약이 따른다. 이에 반해 PLS-SEM은 오차항과 표본의 수에 대해 유연한 가정을 갖고 있기 때문에 많은 수의 지표들 간 인과관계를 검증하거나 탐색하고자 하는 경우 매우 유용한 모형이다. 국내에서도 교육학(오숙영, 2012)이나 도시계획분야(장명준·김태호, 2012) 등 사회과학 분야에서 점차 활용되고 있다.

최근 들어 PLS-SEM이 CB-SEM에 비해 선호되는 이유를 Henseler and Sarstedt(2012)는 모집단에 대한 가정과 측정 단위(scale)에 크게 영향을 받지 않으며, 적은 표본 수에서도 PLS-SEM은 적은 수의 측정 지표만으로도 잠재변수를 구성할 수 있기 때문에 모형의 활용 폭이 넓다. 그리고 많은 수의 잠재변수와 측정지표가 사용되는 경우 또는 하나의 잠재변

수에 많은 수의 측정지표가 연결되어 있는 경우에도 PLS-SEM이 모형 설정과 계수 추정에 유리한 점을 들고 있다.

그러나 PLS-SEM은 CB-SEM에 비해 가장 큰 단점은 PLS-SEM이 이론의 검정과 확증에는 사용이 제한된다는 점이다. 현재까지 PLS-SEM의 전체적인 모형 적합도(global measure of goodness of model fit)를 평가할 수 있는 적절한 지표가 아직 정립되지 않았기 때문에 설정한 모형과 이론적 모형 간 정합성을 판단할 기준이 없다는 단점을 갖고 있다(Hair et al., 2011). 두 모형의 장·단점을 비교하면 [표 4-2]와 같다.

한편 아직까지 두 모형을 선택할 수 있는 기준이 없기 때문에 구조방정식 모형을 사용하고자 할 때 PLS-SEM과 CB-SEM 간 선택은 연구 목적에 의해 결정되어야 한다. 모형이 강한 선험적 이론을 바탕으로 하고 있으며, 이를 검증하고자 하는 경우 모형의 전체적인 적합도 지표가 구축되어 있는 CB-SEM이 적절하지만 연구자가 새로운 구조를 탐색하거나, 예측력

[표 4-2] PLS-SEM과 CB-SEM 간 장·단점 비교

	CB-SEM	PLS-SEM
목적	이론의 검증	새로운 이론 제안, 인과관계 예측
분포의 가정	다변량 정규분포	분포 가정 없음
모델 형태	순환 또는 비순환	비순환
측정변수의 척도	비율, 구간, 순서척도	비율, 구간, 순서, 명목 척도
측정변수단 잠재변수의 개수	하나의 측정변수가 다수의 잠재변수와 관련 가능	하나의 측정변수는 특정 잠재변수에만 관련
계수 추정	예측 및 표본 상관행렬의 차이 최소화를 통한 모수 추정	OLS를 활용한 다단계 반복과정으로 추정

자료: 장명준·김태호(2012: p.79) 편집

에 초점이 두고 있다면 PLS-SEM이 더 적절하다. 특히 PLS-SEM은 측정 지표들을 이용한 완전한 선형결합에 의해 좀 더 정확한 잠재변수의 점수를 구하는 알고리즘을 사용하고 있기 때문에 예측모형으로 더 나은 결과를 보인다(Hair et al., 2011). 또한 CB-SEM에서 정규분포 가정, 최소 표본 크기, 모형의 복잡성과 같은 가정을 준수하지 못하거나, 모델 식별에 문제가 있는 경우 좋은 대안이 될 수 있다(Peng and Lai, 2012).

본 연구에서는 다수의 에너지 소비요인과 요인 간 인과관계를 포함하고 있는 가구의 이산화탄소 배출구조 분석을 위해 PLS-SEM을 선정하였다. 가구의 이산화탄소 배출구조는 확실한 이론적 모형이 정립되어 있지 않고 선행연구가 충분히 축적되어 있지 않기 때문에 모형의 검증보다 다양한 인과관계를 설정하고 검증해야하기 때문이다. 또한 본 연구는 모형의 추정 결과를 이용하여 다양한 에너지 소비요인에 따른 이산화탄소 배출량 증감을 예측하는 것을 세부 목적으로 하고 있기 때문에, 두 모형 중 잠재변수에 대한 설명과 예측을 목적으로 하는 PLS-SEM이 더 적합한 것으로 판단하였다. 또한 국내 81개 도시를 사례로 CB-SEM 모형을 통해 신뢰성 있는 결과를 추정하기에는 표본이 작기 때문에 오차에 대한 가정이 유연하고 표본의 수에 제약이 없는 PLS-SEM 모형이 더 적합한 모형으로 볼 수 있다.

2. PLS-SEM의 구성과 평가 방법

구조방정식은 구조모형(structural model)과 측정모형(measurement model)으로 나누어 볼 수 있다. 구조모형은 잠재변수 간 인과관계 경로(path)를 나타낸 모형으로 흔히 내부모형(inner model)으로 불리며, 다른 잠재변수에게 영향을 주기만 하고 받지 않는 외생적 잠재변수와 외생잠재변수의 목표가 되는 내생적 잠재변수로 구분된다. 잠재변수 간 인과관계에서 PLS-SEM은 CB-SEM과 달리 오직 회귀 관계(recursive)만 허용되며, 따라서 순환관계(causal loop)는 성립되지 않기 때문에 잠재변수 간 모든 경로는 일방향 경로로 설정된다(장명준·김태호, 2012).

측정모형은 외부(outer)모형이라고 부르며, 잠재변수와 측정 지표 간 관계를 나타낸다. 잠재변수와 측정지표 간 관계에 따라 반영(reflective) 지표와 조형(formative)지표로 나뉜다. 그러나 두 지표가 서로 다른 방식으로 잠재변수를 구성하지만 아직 지표를 선택할 수 있는 기준이 없기 때문에 측정모형에서 지표 선택은 측정지표와 잠재변수 간의 이론적 관계에 대한 연구자의 판단에 의존한다(Gotz et al., 2010).

본 연구에서는 측정모형의 지표들을 모두 조형지표를 사용하였다. 조형지표는 잠재변수가 종속변수가 되고 다수의 측정지표가 독립변수가 되는 회귀식과 같다. 조형지표로 만들어진 잠재변수는 측정지표 간 공유분산을 추출하는 반영지표와 달리 모든 측정지표가 잠재변수의 구성성분과 같은 역할을 하기 때문에 제한된 측정지표로 잠재변수를 구축하는 경우 유용한 측정모형 구축 방법이다. 즉 모든 잠재변수들은 자기에게 속해 있는 측정지표들과 측정하지 못한 특성 즉 오차항으로 이루어지고, 다음과 같은 선형 회귀식으로 나타낼 수 있다.

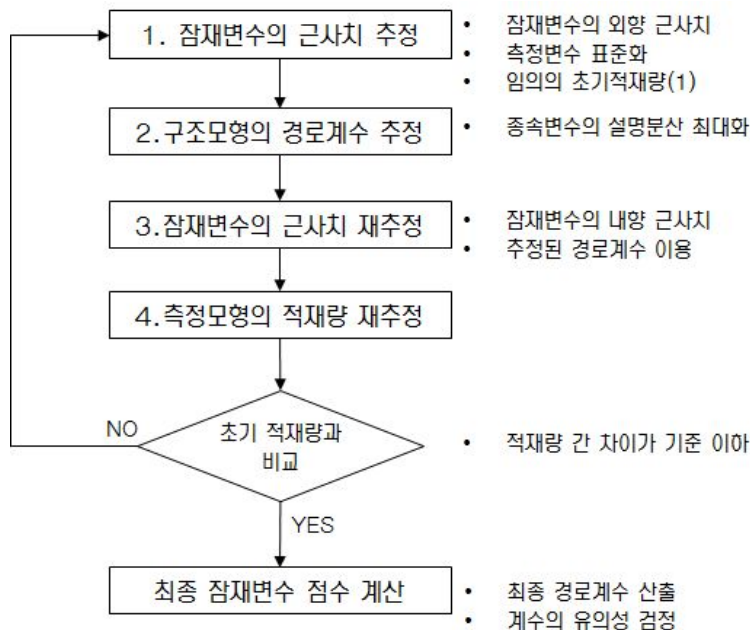
$$L = w_1I_1 + w_2I_2 + w_3I_3 + e$$

여기서 L 은 잠재변수, I 는 각 잠재변수에 속한 측정지표를 나타내며 w 는 측정지표가 잠재변수에 미치는 영향력 즉, 외향 가중치이다. 예를 들어 가구 특성은 소득수준, 연령, 가구 규모와 오차항으로 이루어진 잠재변수이다. 따라서 가구특성이라는 잠재변수의 점수는 위 세 측정 지표의 가중평균이고, 오차항은 가구 특성 중 세 지표로 측정하지 못한 특성을 의미한다. 가구는 소득, 연령, 교육수준, 생애주기 등 다양한 속성을 동시에 갖고 있기 때문에 ‘가구 특성’이라는 에너지 소비요인은 여러 속성들이 모여서 만들어진 요인이다. 따라서 요인이 지표를 설명하는 반영지표에 비해 여러 속성들이 하나의 요인을 구성하는 조형지표가 본 연구에서는 더 적합한 것으로 판단하였다.

1) 계수 추정 방법

PLS-SEM의 계수 과정은 모형의 최종 종속변수(내생잠재변수)의 분산 설명력을 최대화 하는 계수를 추정하기 위해 반복 추정과정을 거친다. 이를 위해 측정모형에서 추정한 계수를 구조모형에 대입시켜 계산하고, 다시 구조모형의 결과로 측정모형의 계수를 재산출하여 초기 값과 차이가 일정 수준 이하가 될 때까지 반복한다.

계수 추정 과정은 [그림 4-2]와 같이 크게 4단계로 나누어 볼 수 있다 (Peng and Lai, 2012). 첫 번째 단계(stage)는 측정지표들을 통해 잠재변수의 근사치를 구하는 것으로 이를 외향 근사치(outer approximation)라고 부른다. 두 번째 단계는 구조모형의 경로계수를 구하는 과정으로 구조모형의 종속변수가 되는 내생잠재변수의 분산 설명력(이른바 결정계수, R^2)를 최대화 하는 계수를 산출한다. 세 번째 단계는 산출된 경로계수를 이용하여 잠재변수의 스코어(내적 근사치)를 다시 재산출하고, 마지막으로



[그림 4-2] PLS-SEM의 계수 추정 과정

네 번째 단계는 내적 근사치를 이용하여 첫 번째 단계의 외향 근사치를 산출한다. 산출된 외향 적재량(가중치)과 첫 번째 단계에서 사용된 값의 차이가 지정된 수준 이하가 될 때까지 같은 과정을 반복한다.

추정된 계수의 유의성은 Bootstrapping, Jackknifing, Blindfolding과 같은 반복적인 무작위 추출(random sampling) 방법에 의한 비모수적 기법을 이용하여 검정한다. 본 연구에서 측정지표의 가중치와 경로계수의 유의성 검정은 표본의 수가 100개 이하로 적고, 이상치(outlier)가 있는 표본에서 안정적 유의도를 얻을 수 있는(Kock, 2012) Jackknifing 방법을 이용하였다.

2) 모형의 적합성 평가

가구 부문 이산화탄소 배출 구조 모형의 분석 결과 해석에 앞서 모형 설정의 적합도를 평가해야 한다. 모형의 평가는 우선 측정모형에서 측정지표와 잠재변수의 타당성을 평가하고, 구조모형에서는 경로계수의 유의도와 모형의 예측력을 통해 모형 설정의 타당성을 평가한다.

PLS-SEM의 모형 평가는 대부분 CB-SEM의 평가방법과 같으며 평가 기준을 정리하면 [표 4-3]과 같다. 특히 PLS-SEM의 측정모형에서는 거의 대부분 CB-SEM의 평가 기준을 적용한다. 측정모형은 측정 지표의 일관성을 평가하는 신뢰도(reliability)와 잠재변수가 측정지표를 대표하는 정도를 나타내는 타당성(validity)을 평가한다(이희연·노승철, 2012).

그러나 앞서 밝혔듯 대부분의 평가 기준들은 반영지표를 이용한 모형에 해당하며, 조형지표를 이용한 측정모형의 평가는 다르다. 반영지표와 달리 조형지표는 여러 개의 측정지표가 하나의 잠재변수를 구성하기 때문에 다차원적(multi-dimensional) 속성을 갖는 조형지표에서는 내적 일관성은 중요한 문제가 아니다(Esposito Vinzi et al., 2010). 따라서 한 잠재변수 내 측정 지표 간 관계를 평가하는 내적 일관성 신뢰도와 수렴 타당도와 같은 평가 기준은 조형지표에는 적용되지 않으며 조형지표를 이용한 측정모형은 외향 적재량(가중치)의 유의도와 측정지표 간 다중공선성을 이용하여 평가한다. 또한 반영지표와 달리 외향 적재량(가중치)가 유의하지 않은

조형지표를 모두 제거해야하는 것은 아니다. 조형 지표의 모든 정보가 잠재변수의 일부분으로 포함되기 때문에 한 조형지표의 제거는 그 지표의 모든 정보를 잃는 것이므로 지표의 제거는 신중해야 한다. 만약 조형지표의 구성이 이론적으로 타당하다면 연구자는 유의하지 않은 조형지표도 모형에 포함하여야하며, 그 결과 해석에 집중해야한다. 그러나 아직까지 조형지표를 사용한 측정모형에서 잠재변수의 타당성을 판단할 수 있는 일관된 기준이 없기 때문에 조형지표 사용에 대한 타당성은 잠재변수에 대한 이론적 근거로 판단되어야 한다(Gotz et al., 2010).

PLS-SEM의 구조모형의 전체 적합도를 평가하는 기준은 아직 없다. 그러나 PLS-SEM의 목적이 내생 잠재변수의 예측에 있기 때문에 내생 잠재변수의 분산 설명 정도와 예측력이 중요한 기준이 된다. 따라서 내생잠재변수에 대한 설명력을 나타내는 결정계수(R^2)와 잠재변수들이 내생잠재변

[표 4-3] 조형지표를 이용한 PLS-SEM의 모형 평가 기준

모형	지표	기준값
조형 측정 지표	추정계수의 유의도	bootstrapping을 이용한 유의성 검정 (bootstrap 표본은 5,000개 이상)
	다중공선성	모든 조형지표의 VIF값이 5이하
	이질성	표본 내 특정 그룹 간 지표의 가중치가 다른지 검정
구조 모형	내생 잠재변수의 결정계수	0.75이상: 중요한(substantial) 0.5이상: 보통(moderate) 0.25이하: 약함(weak)
	경로계수의 유의도	bootstrapping, Jackknifing, Blindfolding을 이용한 유의성 검정
	외생변수의 예측 타당성	$Q^2 > 0$ (각 잠재변수에 대해 blindfolding 기법을 이용한 cross-validated redundancy 측정)
	이질성	그룹 간 경로계수의 차이가 존재한다면 그룹 간 비교 또는 조절효과(moderate) 검증

자료: Hair et al(2011, p.145)

수에 미치는 영향을 나타내는 경로계수(path coefficient)의 유의성이 기본적인 평가기준이 된다(Gotz et al., 2010). 결정계수의 적합한 크기를 판단하는 기준은 없으나 경험적으로(*rule of thumb*) 0.75이상을 상당한(substantial) 설명력, 0.5이상을 보통(moderate), 0.25이하를 약한 설명력(weak)로 구분한다. 또한 구조모형의 예측타당성 평가는 일반적으로 Stone-Geisser's Q^2 를 사용하며 Q^2 값이 0보다 크다면, 내생잠재변수에 대한 외생잠재변수들의 예측력이 타당한 것으로 본다(Chin, 2010).

3) 결과 해석

PLS-SEM의 결과 해석은 측정모형과 구조모형에서 각각 이루어진다. 측정모형에서는 측정지표와 잠재변수 간 관계를 가중치(적재량)을 통해 해석하고 구조모형은 내생잠재변수와 외생잠재변수 간 관계를 경로계수를 이용하여 해석한다.

우선 PLS-SEM의 잠재변수는 다양한 측정지표들이 결합되어 있기 때문에 잠재변수의 의미가 직관적으로 이해되지 않는다. 따라서 구조모형에서 잠재변수 간 인과관계를 해석하기 위해서는 먼저 가중치(적재량)를 이용하여 각 잠재변수들의 의미를 규정하는 과정이 필요하다. 측정모형에서 측정지표와 잠재변수 간 가중치(또는 적재량)는 각 측정지표들이 자신이 속한 잠재변수에게 미치는 영향력의 상대적인 크기를 나타내기 때문에 잠재변수의 의미는 각 측정지표들의 가중치의 부호와 크기에 따라 결정된다. 가중치의 부호는 측정지표와 잠재변수 간 정(+) 또는 부(-)의 관계를 나타내며, 하나의 잠재변수에 여러 측정지표가 속해있는 경우 가중치는 상대적인 영향력의 크기를 나타내기 때문에 가중치의 크기가 큰 측정지표가 잠재변수에 더 많은 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다.

구조모형에서는 경로계수의 부호와 크기, 유의도에 따라 잠재변수 간 인과관계를 설명한다. 경로계수의 부호에 따라 정(+)과 부(-)의 인과관계가 성립하며, 하나의 잠재변수가 여러 잠재변수의 독립변수 역할을 하는 경우 경로계수의 크기가 큰 잠재변수에게 더 큰 영향을 미친다고 할 수 있다(Chin, 2010). 또한 경로계수는 직접적인 인과관계만 나타낼 뿐 간접효과

를 포함한 총효과를 의미하는 것은 아니기 때문에 각 잠재변수들이 내생 잠재변수에 미치는 효과는 직·간접 효과를 더한 총효과로 판단해야한다.

그러나 구조모형의 경로계수는 다중회귀분석의 표준화 계수와 같기 때문에 하나의 잠재변수를 설명하기 위해 함께 사용된 잠재변수들 간 영향력 크기의 비교는 가능하지만 서로 인과관계가 없는 잠재변수들이 최종 종속변수가 되는 내생잠재변수에 미치는 영향력 크기를 비교할 순 없다. PLS-SEM에서는 잠재변수의 영향력 크기를 비교하기 위해 Cohen의 f^2 효과크기지수(effect sizes coefficient)를 주로 사용한다. 이 지수는 외생잠재변수들이 내생잠재변수의 결정계수(R^2)에 기여한 정도를 나타내며 아래와 같이 계산할 수 있다(Gotz et al., 2010). 효과지수가 큰 잠재변수가 내생잠재변수의 설명에 기여도가 크며, 일반적으로 0.02이하의 작은 (small) 효과, 0.15는 중간(medium) 정도, 0.35이상이면 큰(large) 효과로 인정한다(Kock, 2012).

$$f^2 = \frac{R_{incl}^2 - R_{excl}^2}{1 - R_{incl}^2}$$

여기서, f^2 : 효과지수

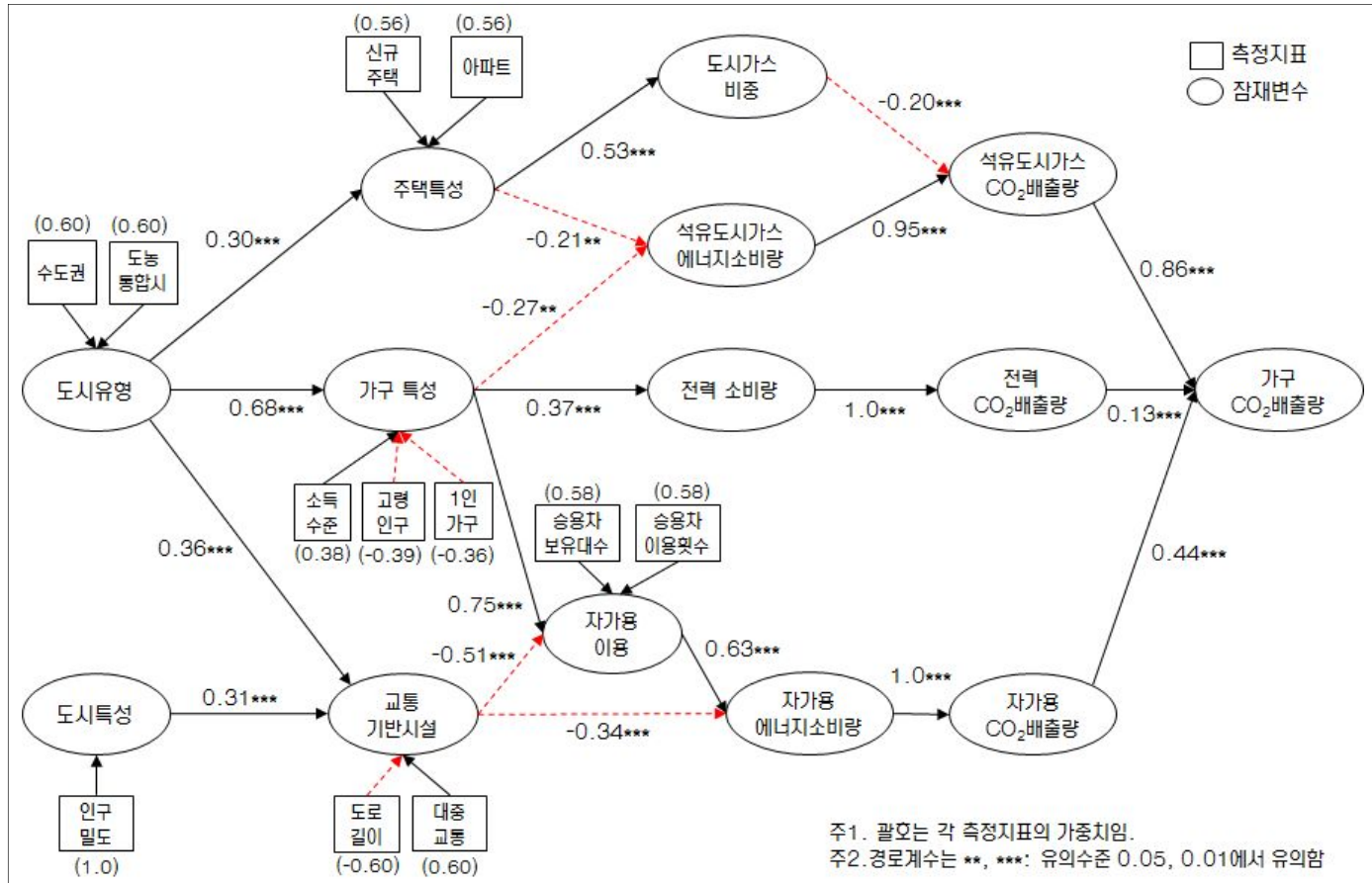
R_{incl}^2 : 모든 변수를 포함한 모형의 결정계수,

R_{excl}^2 : 효과를 측정하는 변수가 포함되지 않은 모형의 결정계수

제 3 절 모형의 추정결과 및 해석

1. 모형의 적합도 및 설명력

PLS-SEM 모형 추정결과와 해석은 모형의 전체 적합도와 타당도를 평가한 후 에너지 소비요인들이 에너지 소비량과 에너지원 그리고 이산화탄소 배출량에 미치는 직·간접 영향을 해석하여야 한다. PLS-SEM을 이용한



[그림 4-3] 가구부문의 이산화탄소 배출구조 모형의 추정결과

도시 가구의 에너지 소비구조와 그에 따른 이산화탄소 배출량 변화에 대한 추정 결과는 [그림 4-3]과 같다. 여기서 직사각형은 가구의 에너지 소비요인으로 선정한 변수(측정지표)들이며, 타원은 측정변수들로 추정된 잠재변수를 의미한다.

또한 측정지표와 잠재변수 간 관계는 인과관계이며, 화살표가 출발하는 잠재변수(측정변수)가 화살표가 도착하는 잠재변수를 변화시키는 원인임을 의미한다. 이는 선형회귀분석의 독립변수, 종속변수와 같은 의미이다.

우선 측정모형의 타당도를 평가하기 위해 각 잠재변수의 평균분산추출지수(AVE: Average Variance Extracted)와 잠재변수 간 상관관계를 보면 [표 4-4]와 같다. 분석 모형에서 모든 측정지표가 조형지표로 사용되었기 때문에 반영지표에 대한 타당도와 신뢰도 기준을 본 연구의 측정모형을 평가하는 지표로 사용할 수 없다. 그러나 AVE는 잠재변수들이 측정지표를 얼마나 잘 나타내고 있는지 판단할 수 있는 참고 자료로 이용할 수 있을 것이다. 잠재변수들의 평균분산추출지수를 보면 모든 잠재변수가 0.7 이상으로 나타났으며, 이는 잠재변수들이 자신에게 속한 측정지표들의 정

[표 4-4] 가구부문의 이산화탄소 배출구조 모형에서 잠재변수들 간의 상관관계

	도시 유형	도시 특성	주택 특성	가구 특성	교통 기반시설	자가용 이용
AVE	0.705	1	0.789	0.781	0.705	0.752
도시유형	0.839					
도시특성	0.722***	1				
주택특성	0.298***	0.165	0.888			
가구특성	0.679***	0.610***	0.690***	0.884		
교통기반시설	0.590***	0.576***	0.411***	0.663***	0.840	
자가용이용	-0.124	-0.131	0.609***	0.406***	-0.018	0.867

주1. 대각선 성분은 각 잠재변수 AVE값의 제곱근(square root)임

주2. ***: 유의수준 0.01에서 유의함

보를 70%이상 포함하고 있다고 판단할 수 있기 때문에 잠재변수가 측정 지표들을 대표하는 변수라고 볼 수 있다. 또한 잠재변수 간 상관관계와 AVE의 제곱근을 이용하여 판별타당도를 평가할 수 있다. 판별타당도는 모형의 측정지표들이 자신과 가장 연관이 있는 잠재변수에게 속해 있음을 의미한다.

[표 4-4]의 잠재변수 간 상관계수를 보면 모든 잠재변수들이 다른 잠재변수와 상관계수보다 AVE의 제곱근 값이 큰 것으로 나타나 판별타당도로 확보한 것으로 나타났다. 즉 측정모형에서 측정지표와 잠재변수 간 구분도 타당하다고 볼 수 있다. AVE와 잠재변수 간 상관관계를 종합해 보면, 본 연구의 측정모형은 측정지표와 잠재변수 간 관계, 잠재변수와 잠재변수 간 관계의 타당성이 확보된 것으로 볼 수 있다.

PLS-SEM은 최종 종속변수가 되는 잠재변수를 가장 잘 예측할 수 있는 가중치와 경로계수를 추정하는 것을 목적으로 하기 때문에 잠재변수에 대한 예측력 또한 모형의 적합성을 판단하는 평가 기준이 된다. [표 4-5]는 분석 모형의 종속변수인 가구 부문의 용도별 에너지 소비량의 결정계수(R^2)와 예측력을 평가하는 Q^2 지수를 나타낸 표이다. 잠재변수에 대한 설명력을 나타내는 결정계수를 보면 석유·도시가스와 전력 소비량에 대해서는 0.2 이하로 낮은 설명력을 보였으며, 교통에너지 소비량은 약 0.5의 중간정도 설명력을 보였다. 이는 교통에너지 소비량에 비해 다양한 목적의 활동이 복합적으로 작용하는 주거에너지 소비량에 대한 설명과 예측이 더 어렵다는 것을 의미한다. 또한 주거에너지 소비에 대한 설명을 위해서는 가구의 에너지 소비 활동에 대한 상세한 자료의 구축이 필요함을 의미한다. 그러

[표 4-5] 가구부문의 에너지원별 소비량에 대한 설명력과 예측력

	에너지원별 소비량		
	석유·도시가스	전력	자가용
R-sqaure	0.197	0.138	0.521
Q-square	0.201	0.129	0.521

나 모형의 예측력을 평가하는 Q^2 지수가 모든 잠재변수에서 0이상을 나타내 예측력은 유의한 것으로 나타나 잠재변수에 대한 모형의 예측력은 양호한 것으로 볼 수 있다. 따라서 종속변수에 대한 설명과 예측을 목적으로 하는 PLS-SEM의 목적에 비추어 볼 때 본 연구의 에너지 소비구조와 이산화탄소 배출량 변화 분석을 위한 모형은 전체적인 타당도를 확보한 것으로 판단할 수 있다.

2. 잠재변수의 해석

에너지 소비요인들이 에너지 소비량과 에너지원에 미치는 영향을 해석하기 위해서 우선 측정지표들로 추정된 잠재변수들의 의미를 해석해야 한다. 특히 둘 이상의 측정지표로 추정된 잠재변수는 복합적인 의미를 갖고 있기 때문에 해당 잠재변수의 의미를 명확히 해야 각 잠재변수들이 종속변수에 미치는 영향을 해석할 수 있다.

[표 4-6] 측정지표 가중치 산출 결과

잠재변수	측정지표	가중치
도시특성	수도권	0.596
	일반시	0.596
주택특성	아파트거주비율	0.563
	신규주택비율	0.563
가구특성	재정자립도	0.383
	65세이상 인구비율	-0.390
	1인가구 비율	-0.358
교통 기반시설	대중교통보급	0.595
	1인당 도로 길이	-0.595
자가용 이용	승용차보유	0.576
	승용차이용	0.576

주. 측정지표가 둘이상인 잠재변수만 나타냈으며 모든 가중치는 유의수준 0.01에서 유의함

잠재변수들의 의미 해석은 각 측정지표들이 자신이 속한 잠재변수에 미치는 영향력(가중치)의 부호와 크기에 따른다. [표 4-6]은 각 측정지표의 가중치와 그 유의도 그리고 잠재변수 내 다중공선성 진단을 위해 VIF 지표를 나타낸다. 잠재변수별 가중치들은 모두 유의 수준 0.01에서 모두 유의한 것으로 나타나 측정지표들이 잠재변수 구성에 유의한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 한편 측정 지표 간 유의한 상관관계가 존재하나(부록 8 참조) 모든 측정지표의 VIF 지수가 1.2-2.76 사이로 심각한 다중공선성은 없는 것으로 볼 수 있다.

잠재변수와 측정지표 간 관계는 (식 4-1)과 같이 선형회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$\textcircled{1} City_i = 0.596(SD_i) + 0.596(CD_i) + e_{1i} \quad (\text{식 4-1})$$

$$\textcircled{2} HO_i = 0.563(New_i) + 0.563(APT_i) + e_{2i}$$

$$\textcircled{3} HH_i = 0.383(FI_i) - 0.390(Old_i) - 0.358(One_i) + e_{3i}$$

$$\textcircled{4} Car_i = 0.576(Own_i) + 0.576(Use_i) + e_{4i}$$

$$\textcircled{5} Infra_i = 0.595(Public_i) - 0.595(Road_i) + e_{5i}$$

여기서 i : 81개 도시, e : 오차항

City: 도시유형, SD: 수도권 더미변수, CD: 일반시 더미변수

HO: 주택특성, New: 신규주택비율, APT: 아파트비율

HH: 가구특성, FI: 재정자립도, Old: 65세 이상 인구비율, One: 1인가구 비율

Car: 자가용이용 특성, Own: 승용차 보유대수, Use: 승용차 이용횟수

Infra: 교통기반시설, Public: 대중교통종사자수, Road: 1인당 도로길이

도시 유형을 보면 측정지표 중 수도권 더미변수, 일반 시 더미변수의 가중치가 모두 양(+)의 부호를 보이고 있다. 이는 두 더미변수를 통해 추정된 도시 유형 잠재변수의 값(score)은 비수도권 도시에 비해 수도권 내 도시, 도농통합시에 비해 일반시가 더 높다. 따라서 도시유형 잠재변수는 수도권 도시와 일반시의 특성을 나타내는 것으로 해석할 수 있다.

신규주택과 아파트 거주 가구 비율로 구성된 주택 특성 잠재변수는 두 측정지표가 모두 양(+)의 부호를 나타내고 있어 신규주택이 많고, 일반 주택에 비해 아파트가 많은 도시에서 잠재변수의 점수가 높다. 따라서 주택 특성 잠재변수는 도시의 주택 유형이 ‘신규 아파트 주택’ 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

가구 특성은 소득수준(재정자립도)의 가중치는 양(+)의 부호를 나타내고, 65세이상 인구비율과 1인가구 비율은 음(-)의 부호를 나타내 서로 상반된 특성의 측정지표로 구성된 잠재변수이다. 따라서 가구 특성 잠재변수의 점수는 도시의 소득수준이 높으면서, 65세 이상 고령층보다 젊은 층의 비율이 높으며, 1인가구보다 2인 이상의 다인가구가 많은 인구 및 가구 구조를 가진 지역이 높다. 가중치의 크기를 보면 세 측정지표 중 65세이상 인구 비율의 가중치가 가장 크고, 이어 소득수준, 1인 가구 비율의 순으로 나타나, 도시의 연령구조가 가장 큰 영향을 미치는 잠재변수로 가구 특성 잠재변수는 ‘고소득, 젊은층, 2인 이상 가구’ 특성을 나타내는 잠재변수로 볼 수 있다.

한편 도시의 교통 기반시설 수준을 나타내는 교통기반시설 잠재변수는 1인당 도로 길이와 대중교통서비스 공급 수준 측정지표로 이루어져 있다. 가중치 추정 결과 1인당 도로 길이는 음(-), 대중교통서비스 공급 수준은 양(+)의 부호를 보여 1인당 도로 길이가 짧으면서 대중교통서비스 공급 수준은 높은 특성을 보인다. 따라서 교통기반시설 잠재변수는 ‘대중교통 지향형’ 특성을 나타내는 잠재변수이다. 마지막으로 자가용 이용 잠재변수는 승용차 보유와 승용차 이용 두 측정지표로 구성되어 있고, 두 측정지표의 가중치가 모두 양(+)의 부호를 나타내 인구대비 승용차 보유 수준이 높으면서, 이용도가 높은 도시의 특성을 보여준다. 따라서 자가용 이용 잠재변수는 ‘승용차 선호형’ 특성을 나타낸다고 볼 수 있다.

3. 에너지 소비요인들의 직·간접적 영향력 분석

에너지 소비요인들은 [그림 4-3]과 같이 가구의 에너지원별 소비량과

에너지원에 다양한 경로를 통해 영향을 미치고 있다. 주택, 가구, 자가용 이용과 같이 직접적으로 에너지 소비량과 에너지원의 변화를 일으키는 요인도 있지만, 도시 특성이나 인구밀도는 간접적으로 가구의 에너지 소비 행태에 영향을 미친다. 따라서 각 요인들이 가구의 에너지 소비량과 에너지원 나아가 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 직·간접 효과를 모두 고려해야한다.

석유와 도시가스 소비량에 직접적인 영향을 미치는 요인은 주택특성과 가구특성이며, 도시특성은 간접효과를 나타내고 있는 요인이다. 각 측정지표와 잠재변수들이 석유·도시가스 소비량과 이산화탄소 배출량에 미치는 영향은 [식 4-2]와 같이 나타낼 수 있다.

$$\textcircled{1} CG_i = 0.95(EG_i) - 0.2(Gas_i) + e_{1i} \quad (\text{식 4-2})$$

$$\textcircled{2} EG_i = -0.27(HH_i) - 0.21(HO_i) + e_{2i}$$

$$\textcircled{3} HH_i = 0.383(FI_i) - 0.39(Old_i) - 0.358(One_i) + e_{3i}$$

$$\textcircled{4} HO_i = 0.56(New_i) + 0.56(APT_i) + e_{4i}$$

$$\textcircled{5} Gas_i = 0.53(HH_i) + e_{5i}$$

여기서, i : 81개 도시, e : 오차항

CG: 석유도시가스 소비에 의한 CO2 배출량, EG: 석유도시가스 소비량,
HH: 가구특성, FI: 재정자립도, Old: 65세이상 비율, One: 1인가구 비율,
HO: 주택특성, New: 신규주택비율, APT: 아파트비율, Gas: 도시가스 비중

석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량(CG)은 석유·도시가스 소비량(EG)과 소비량 중 도시가스 비중(Gas)에 의해서 결정되며, 계수의 부호를 보면 에너지 소비량이 증가할수록 배출량은 많아지고, 도시가스 비중이 많을수록 이산화탄소 배출량은 줄어든다. 한편 에너지 소비량(EG)은 가구 특성(HH)과 주택 특성(HO)에 영향을 받으며 두 특성이 증가할수록 에너지 소비량은 줄어드는 것을 알 수 있다.

가구 특성(HH) 값은 재정자립도(FI)가 클수록 커지고, 65세이상 비율

(Old)과 1인가구 비율(One)이 클수록 작아진다. 따라서 재정자립도가 큰 도시일수록 가구특성의 점수가 증가하여 에너지 소비량이 증가하고, 결과적으로 이산화탄소 배출량 또한 증가하게 되며, 65세 이상 비율과 1인 가구 비율은 반대의 효과를 나타낸다. 이는 고소득·젊은층·다인가구에서 1인당 석유·도시가스 소비량과 이산화탄소 배출량이 더 적다는 것을 의미한다. 젊은 층이 고령층에 비해 주택 거주 시간이 짧고, 다인 가구는 에너지 소비의 규모의 경제효과로 1인당 에너지 소비가 적기 때문이다. 고소득가구의 에너지 소비량이 적은 것은 석유·도시가스가 주로 난방에너지로 사용되는 것과 연관이 있다. 난방에너지 소비는 개인의 에너지 비 행태보다 주택의 열효율 성능과 관련이 많으며, 고소득자들은 일반적으로 저소득자에 비해 열효율이 높은 주택에 거주하기 때문에 1인당 난방에너지 소비는 오히려 더 적을 수 있다(van Raaij and Verhallen, 1983). 이는 난방에너지가 가구원의 소비 행태에 큰 영향을 받는 전력 소비와는 달리 주택의 성능에 의해 더 크게 좌우되기 때문에 소득 증가에 덜 민감하다는 것을 보여준다(노승철·이희연, 2013) .

가구특성과 달리 주택 특성(HO)은 가구의 이산화탄소 배출량에 두 가지 영향을 미친다. 우선 주택특성 값은 신규주택비율(New)과 아파트 비율(APT)이 클수록 증가하고, 주택특성 값이 증가할수록 에너지 소비량이 줄어들어 이산화탄소 배출량이 감소하기 때문에, 신규주택비율과 아파트 비율은 가구의 이산화탄소 배출량을 감소시키는 요인으로 볼 수 있다. 이는 아파트와 신규주택이 다른 주택에 비해 열효율 등의 성능이 좋기 때문에 석유·도시가스 소비량이 상대적으로 줄어드는 것으로 풀이할 수 있다. 또한 주택 특성 값의 증가는 도시가스 비중(Gas)을 증가시키며 도시가스 비중이 증가함에 따라 가구의 이산화탄소 배출량은 감소하게 된다. 따라서 주택 특성은 에너지 소비량을 줄이고, 도시가스 비중을 증가시킴으로써 가구의 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량을 줄이는 두 가지 효과를 나타낸다.

그리고 도시유형은 가구의 석유·도시가스 소비량과 도시가스 비중에 간접적인 영향을 미치고 있다. 앞서 [그림 4-1]에서 본 것과 같이 도시 유형

은 가구특성과 주택 특성에 직접적인 영향을 미치고 있으며, 이와 같은 관계는 (식 4-3)과 같은 두 개의 선형회귀식으로 나타낼 수 있다. 따라서 도시유형은 직접적으로 가구의 석유·도시가스 소비량과 에너지원을 변화시키는 것은 아니나, 주택과 가구특성의 차이를 만드는 요인으로써 간접적으로 에너지 소비량과 에너지원의 변화에 영향을 미치고, 결과적으로 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량의 간접 영향 요인이라고 할 수 있다. 이는 주택 내에서 사용하는 에너지 소비가 주택과 가구원뿐만 아니라 거주하고 있는 도시유형에도 영향을 받고 있다는 것을 보여준다.

$$\textcircled{1} HO_i = 0.30(City_i) + e_{1i} \quad (\text{식 4-3})$$

$$\textcircled{2} HH_i = 0.68(City_i) + e_{2i}$$

여기서, i : 81개 도시, e : 오차항

HH: 가구특성, HO: 주택특성, City: 도시가스 비중

전력 소비와 그로인한 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인은 석유·도시가스보다 적다. 이는 전력이 주로 가구가 구입하고 사용하는 가전 기기에 의해 소비량이 결정되기 때문에 주택, 도로와 같은 환경 요인 보다는 가구의 소비행태에 큰 영향을 받는 것으로 볼 수 있다. 그리고 전력과 석유·도시가스가 모두 주택 내에서 소비되는 에너지이지만, 전력은 대기전력으로 인해 가구원들의 주택 내 거주 시간과 상관없이 소비되는 차이가 있기 때문에(Gram-Hanssen, 2009) 기기를 구입하는 가구의 소비행태가 가장 영향력이 큰 요인이라고 볼 수 있다. 또한 전력은 전국 가구에 동일하게 공급되는 에너지원으로 석유·도시가스와 달리 도시 간 에너지원의 차이가 없기 때문에 지역 간 전력소비에 의한 이산화탄소 배출량은 모두 전력 소비량에 의한 차이라고 할 수 있다.

전력 소비량과 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인 간 관계를 수식으로 나타내면 (식 4-4)와 같다. 지역 간 전력 소비로 인한 이산화탄소 배출량(CE)의 차이는 모두 전력 소비량(EE)에 의해 결정되며, 전력 소비량

은 가구특성(HH)에 영향을 받는다. 이는 가구특성에 따라 전기 기기를 보유하고 사용하는 소비 행태에 차이가 있으며 그 차이에 따라 전력 소비량이 달라진다는 것을 의미한다. 가구특성을 보면 재정자립도(FI)는 가구특성 값을 증가시키고, 65세이상 인구비율(Old)과 1인가구 비율(One)은 감소시키는 것으로 나타났다. 즉 도시의 소득수준(재정자립도)이 높아지면 1인당 전력소비량은 증가하고, 고령인구가 증가하거나 1인가구가 늘어나면 1인당 전력소비량은 감소한다. 이는 소득수준이 높아지면서 가전 기기의 크기가 커지고 보유대수가 늘어나기 때문에 전력소비가 증가하지만, 고령 인구는 전기기기 사용이 적고, 1인가구는 상대적으로 전기기기의 보유대수도 적기 때문에 전력 소비가 적다는 것을 의미한다. 즉 전력은 가구원수에 따라 전기기기의 수도 늘어나기 때문에 규모의 경제효과를 누리지 못한다는 것을 나타낸다(노승철·이희연, 2013).

$$\textcircled{1} CE_i = 1.0(EE_i) + e_{1i} \quad (\text{식 4-4})$$

$$\textcircled{2} EE_i = 0.37(HH_i) + e_{2i}$$

$$\textcircled{3} HH_i = 0.383(FI_i) - 0.39(Old_i) - 0.358(One_i) + e_{3i}$$

여기서, i : 81개 도시, e : 오차항

CE: 전력 소비에 의한 CO2 배출량, EE: 전력 소비량,

HH: 가구특성, FI: 재정자립도, Old: 65세 이상 인구비율, One: 1인 가구 비율,

또한 앞서 (식 4-3)에서 본 것과 같이 가구특성이 도시유형의 영향을 받고 있기 때문에 도시유형은 가구특성을 통해 간접적으로 전력 소비량에도 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 이는 수도권과 일반시일수록 가구 특성 값이 증가하므로, 수도권과 일반시 가구가 비수도권 도시나 도농통합시 가구에 비해 1인당 전력소비량이 더 많다는 것을 의미한다.

가구의 자가용 이용에 따른 에너지 소비와 이산화탄소 배출요인은 [그림 4-3]과 가구의 자가용 이용 특성과 교통기반시설 특성이 가장 직접적인 소비 요인으로 볼 수 있다. 에너지 소비요인과 가구의 자가용 이용에

너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 간 관계를 수식으로 나타내면 (식 4-5)와 같다. 도시 간 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량(CC) 차이는 자가용 이용에 따른 에너지 소비량(EC)에 의해 결정된다. 실제 도시 간 휘발유, 경유, LPG 등 연료별 자가용 비중이 다르기 때문에 동일한 연료소비에도 이산화탄소 배출량이 다를 것으로 예상할 수 있으나, 본 연구에서는 자료의 한계로 모든 자가용의 연료를 휘발유로 가정했기 때문에 도시 간 에너지원의 차이는 없다. 자가용 에너지 소비에 직접적인 소비 요인은 자가용이용 특성(Car)과 교통기반시설(Infra)이며, 자가용이용 특성은 승용차 보유대수(Own)와 이용횟수(Use)가 증가하면 그 값이 커지고, 교통기반시설은 대중교통종사자수(Public)가 증가하면 값이 커지나, 도로 길이(Road)가 증가하면 값이 작아진다. 이와 같은 관계는 가구의 자가용 보유대수와 이용횟수가 많고 1인당 도로 길이가 긴 지역에서는 자가용이용에 따른 에너지 소비량이 많고, 대중교통보급수준이 높은 지역에서는 에너지 소비량이 적다는 것을 나타낸다.

$$\textcircled{1} CC_i = 1.0(EC_i) + e_{1i} \quad (\text{식 4-5})$$

$$\textcircled{2} EC_i = 0.63(Car_i) - 0.34(Infra_i) + e_{2i}$$

$$\textcircled{3} Car_i = 0.58(Own_i) + 0.58(Use_i) + e_{3i}$$

$$\textcircled{4} Infra_i = 0.60(Pubic) - 0.60(Road_i) + e_{4i}$$

$$\textcircled{5} Infra_i = 0.31(Density_i) + 0.36(City) + e_{5i}$$

여기서, i : 81개 도시, e : 오차항

CC: 자가용 주행에 의한 CO2 배출량, EC: 자가용에 의한 에너지 소비량,

Car: 자가용이용특성, Own: 승용차 보유대수, Use: 승용차이용 횟수

Infra: 교통기반시설 특성, Public: 대중교통 종사자수, Road: 1인당 도로 길이

Density: 순인구밀도, City: 도시특성

한편 (식 4-6)은 가구의 자가용 에너지 소비에 간접적인 영향을 미치는 요인들을 보여준다. 우선 가구의 자가용이용특성(Car)은 가구특성(HH)과

교통기반시설(*Infra*)의 영향을 받는다. 가구특성 값은 자가용이용 특성을 증가시키고, 교통기반시설은 감소시키는 것으로 나타났다. 즉 고소득·젊은 층·2인 이상 가구가 많은 도시일수록 자가용 보유대수와 이용횟수가 증가하여 자가용이용 에너지 소비량이 많고, 반대로 대중교통보급수준이 높고, 도로 길이가 짧은 도시에서는 자가용 이용을 줄이는 효과가 있다는 것을 나타낸다. 이는 대중교통서비스는 많은 사람이 차량 한 대를 이용해서 이동하는 규모의 경제 효과(직접효과)와 가구의 자가용 보유와 이용 횟수를 줄임으로써 교통에너지 소비를 감소시키는 간접 효과를 함께 갖고 있음을 보여준다.

또한 교통기반시설은 도시유형 및 특성과 양(+)의 관계를 보이고 있다. 이는 밀도가 높은 도시일수록 그리고 수도권과 일반시가 비수도권과 도농통합시에 비해 교통기반 시설이 잘 갖추어져 있음을 의미한다. 따라서 도시유형과 특성은 교통기반시설 확충에 긍정적인 영향을 미침으로써 간접적으로 자가용 이용에 따른 에너지 소비를 줄이는 효과를 갖고 있음을 알 수 있다.

$$\textcircled{1} Car_i = 0.75(HH_i) - 0.510(Infra_i) + e_{1i} \quad (\text{식 4-6})$$

$$\textcircled{2} Infra_i = 0.31(CA_i) + 0.36(City) + e_{2i}$$

$$\textcircled{3} CA_i = 1.0(Density_i) + e_{3i}$$

여기서, i : 81개 도시, e : 오차항

Car : 자가용이용특성, HH : 가구특성, $Infra$: 교통기반시설특성,

CA : 도시특성, $City$: 도시유형, $Density$: 순인구밀도,

에너지 소비요인(잠재변수)들이 에너지원별 소비량에 미치는 직·간접 영향은 [표 4-7]과 같다. 여기서 총효과는 직·간접 영향을 합한 효과이다. 에너지 소비요인들이 에너지원별 소비량에 미치는 영향에서 주목할 점은 요인들이 에너지원에 따라 상충된 영향을 미치고 있는 점이다. 즉 도시특성, 주택특성, 교통기반시설, 자가용 이용과 같이 하나의 에너지원에만 영향을

[표 4-7] 에너지 소비요인들이 에너지원별 소비에 미치는 직·간접적 영향력 비교

		도시유형	도시특성	주택특성	가구특성	교통기반	자가용 이용
		수도권/ 일반시	고밀도시	신규주택/ 아파트	고소득/ 젊은층/ 다인가구	대중교통 보급	
석유 도시가스 소비	직접			-0.214**	-0.268**		
	간접	-0.246***					
	총효과	-0.246***		-0.214**	-0.268**		
전력 소비	직접				0.372***		
	간접	0.252***					
	총효과	0.252***			0.372***		
자가용 에너지 소비	직접					-0.337***	0.633***
	간접	0.081	-0.208**		0.472***	-0.325***	
	총효과	0.081	-0.208**		0.472***	-0.662***	0.633***

주. *, **, *** : 유의수준 0.1, 0.05, 0.01에서 유의함

미치는 요인도 있지만, 도시유형, 가구특성은 세 에너지원에 모두 영향을 미치며 그 효과가 각각 다르다. 도시유형은 석유·도시가스 소비량은 감소시키지만, 전력 소비량은 증가시키고, 가구특성은 석유·도시가스 소비량은 감소시키지만 전력과 교통에너지 소비량은 증가시킨다. 이는 도시의 사회·경제적 변화가 가구의 에너지 소비에 미치는 영향을 예측하기 어려우며, 가구의 에너지는 세분화해서 분석해야 가구의 에너지 변화 요인을 파악할 수 있음을 나타낸다.

이와 같은 관계는 도시유형이 자가용 에너지 소비에 미치는 영향에서 더욱 잘 나타난다. 도시유형이 자가용의 에너지 소비량에 미치는 영향이 양(+)의 부호이나 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 실제 도시유형이 자가용의 에너지 소비량에 큰 영향을 미치지 못하는 것이 아니라 증가효과와 감소효과를 모두 갖고 있기 때문이다. [그림 4-3]을 보면 도시유형은 자가용 에너지 소비량을 증가시키는 간접효과(도시유형→가구특성→자가용 이용→자가용 에너지 소비량)와 감소시키는 간접효과(도시유형→교통기

반시설→자가용 에너지 소비량)을 모두 갖고 있기 때문에, 증가효과와 감소효과가 상쇄되어 소비량에 큰 변화를 일으키지 못하는 것이다.

이와 같이 가구부문의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들의 영향을 파악하기 위해서는 에너지를 용도와 에너지원별로 세분화한 연구가 필요하며, 특히 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량 변화를 파악하기 위해서는 에너지원별 소비의 변화를 파악하는 연구가 필요할 것이다.

4. 에너지 소비요인들 간의 영향력 비교

에너지 소비요인들은 앞서 보았던 에너지원별 소비에 미치는 직·간접 효과를 통해 최종적으로 가구의 이산화탄소 배출에 영향을 미친다. 그러나 추정된 경로계수는 다중회귀분석의 표준화 회귀계수와 같기 때문에 같은 잠재변수에 영향을 미치고 있는 계수 간 영향력 크기 비교만 가능하고 다른 잠재변수에 미치는 영향력의 크기를 추정계수로 직접 비교할 수 없다. 따라서 PLS-SEM에서는 각 잠재변수들이 내생잠재변수에 미치는 영향력의 크기를 비교하기 위해 효과 지수를 사용한다.

효과지수를 통해 가구, 주택, 교통기반시설, 도시유형 등 에너지 소비요인들이 이산화탄소 배출에 미치는 영향력의 크기를 비교하면 [표 4-8]과 같다. 우선 석유와 도시가스의 이산화탄소 배출량에 가장 큰 영향을 미치고 있는 요인은 주택특성이며, 가구특성, 도시유형, 도시가스비중의 순이다. 이는 석유·도시가스가 주택에서 주로 난방에너지로 사용되기 때문에 주택의 물리적 성능에 큰 영향을 받으며, 더구나 주택에 따라 공급되는 에

[표 4-8] 에너지원별 이산화탄소 배출량에 대한 효과지수

에너지원	도시 유형	도시 특성	주택 특성	가구 특성	교통 기반시설	자가용 이용	도시가스 비중
석유 도시가스	0.093		0.152	0.142			0.068
전력	0.067			0.138			
자가용	0.034	0.079		0.009	0.230	0.404	

너지원이 다르기 때문에 가장 큰 영향력을 가진 요인으로 볼 수 있다. 그러나 가구특성의 영향력이 큰 것은 가구의 소비행태도 석유·도시가스 소비에 큰 영향을 미치고 있음을 보여주며, 따라서 석유·도시가스 소비 감소를 위해서는 주택의 개량과 더불어 가구의 사회·경제적 변화에 대한 이해도 함께 이루어져야함을 나타낸다.

전력 소비에 의한 이산화탄소 배출량에는 가구 특성이 매우 큰 영향력을 보이고 있으며, 이는 전기 기기가 가구의 소득수준과 연령에 큰 영향을 받고 있기 때문에 지역의 물리적환경보다 가구의 사회·경제적 특성이 가장 큰 요인임을 나타낸다. 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량에 대한 효과지수는 가구의 자가용이용이 가장 큰 영향력을 미치는 것으로 나타났으며, 교통기반시설, 도시유형, 도시특성, 가구특성의 순으로 나타났다. 즉 자가용에 의한 이산화탄소 배출량 자가용을 이용할 수 있는 물리적환경의 영향이 가장 큰 것으로 볼 수 있다. 가구특성의 효과지수가 다른 요인에 비해 매우 작게 나타났으나, 가구특성이 효과지수가 가장 큰 자가용이용을 증가시키는 직접요인임을 감안한다면 자가용의 이산화탄소 배출량에 가구 특성의 영향력 역시 매우 크다고 볼 수 있다.

5. 이산화탄소 배출량 증감 예측

PLS-SEM의 경로계수는 선형회귀식의 표준화 계수와 같은 의미이기 때문에 추정된 계수를 통해 에너지 소비요인들이 실제 이산화탄소 배출량의 변화에 미치는 영향을 직관적으로 알 수 없다. 따라서 다음과 같이 표준화 계수를 이용한 변화량을 계산하는 과정이 필요하다. 우선 선형회귀식에서 표준화 계수를 통해 예측값을 산출하는 과정을 살펴본 후, 그 과정을 이용하여 이산화탄소 배출량의 증감량을 예측하였다.

우선 선형회귀모형의 일반식은 (식 4-7)과 같이 나타낼 수 있으며, 종속변수와 독립변수를 표준화시킨 선형회귀식은 (식 4-8)과 같다.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e \quad (\text{식 4-7})$$

$$Y' = \beta_1' X_1' + \beta_2' X_2' + e' \quad (\text{식 4-8})$$

여기서 X' 와 Y' 는 각각 X 와 Y 의 표준화된 값(Z-score)을 의미하며, β 는 비표준화 계수, β' 는 표준화 계수를 나타낸다. 비표준화 계수와 표준화 계수는 (식 4-9)과 관계를 갖고 있으며 s_x 는 독립변수 X 의 표준편차, s_y 는 독립변수 Y 의 표준편차를 의미한다.

$$\beta' = \beta \left(\frac{s_x}{s_y} \right) \rightarrow \beta' s_y = \beta s_x \quad (\text{식 4-9})$$

(식 4-7)과 같은 선형회귀식에서 독립변수(X_1)가 1 단위만큼 증가하면 종속변수(Y)는 (β)만큼 증가하고, 마찬가지로 (식 4-8)에서는 독립변수 X_1' 이 한 단위만큼 증가하면 Y' 는 (β_1')만큼 증가한다.

그러나 (식 4-8)에서 표준화 계수의 해석이 어려운 점은 표준화된 독립변수(X')와 종속변수(Y')의 한 단위 즉 1의 증가가 표준화 전 X 와 Y 의 1과 의미가 다르기 때문이다. 즉 X' 와 Y' 모두 평균이 0, 분산이 1로 표준화되었기 때문에 (식 4-10)과 같이 X' 와 Y' 에서의 1 증가는 곧 표준화되기 전 X , Y 가 각각 자신의 표준편차 s_x , s_y 만큼 증가한 것을 의미한다.

$$\begin{aligned} X'(Y') \text{의 한 단위(1) 증가} &\rightarrow X(Y) \text{가 자신의 표준편차 } s_x(s_y) \text{만큼 증가} \\ \therefore X'(Y') \text{의 } a \text{배 증가} &\rightarrow X(Y) \text{가 } a * s_x(s_y) \end{aligned} \quad (\text{식 4-10})$$

따라서 (식 4-8)의 결과와 (식 4-11)관계를 통해 표준화 계수에서 표준화되기 전 Y 의 변화량을 계산할 수 있다. (식 4-8)에서 X_1' 이 한 단위만큼 증가하면 Y' 는 (β_1')만큼 증가하고, 이는 Y 가 ($\beta \cdot s_y$)만큼 증가한 것과 같다. 결국 X_1' 의 한 단위 증가가 X 가 자신의 표준편차(s_x)만큼 증가

한 것을 의미하므로 (식 4-8)에서 X 가 s_x 만큼 증가하면 Y 가 표준화계수와 자신의 표준편차의 곱($\beta' \cdot s_y$) 만큼 증가한다고 할 수 있다.

X' 가 1 증가 $\rightarrow Y'$ 는 $\beta_1' \cdot 1$ 만큼 증가 $\rightarrow Y$ 는 $\beta_1' \cdot 1 \cdot s_y$ 만큼 증가

X 가 s_x 만큼 증가 = X' 가 1 증가

$\therefore X$ 가 s_x 만큼 증가 $\rightarrow Y$ 는 $\beta_1' \cdot 1 \cdot s_y$ 만큼 증가 (식 4-11)

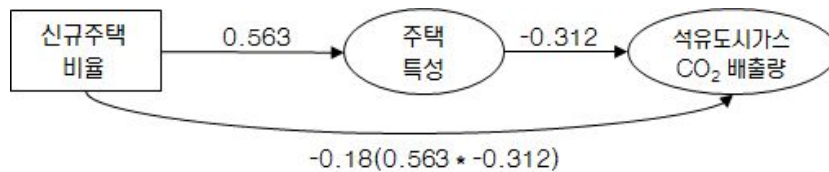
잠재변수들이 이산화탄소 배출량 증감에 미치는 효과를 예측하기 위해 각 잠재변수가 에너지원별 이산화탄소 배출량에 미치는 총효과를 산출하면 [표 4-9]와 같다.

측정지표가 에너지원별 이산화탄소 배출 증감에 미치는 효과를 측정지표와 잠재변수 간 가중치와 잠재변수 간 경로계수를 이용한다. 예를 들어 주택특성 중 신규주택 비율이 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량에 미치는 영향력은 [그림 4-4]와 같다. 신규주택비율이 잠재변수인 주

[표 4-9] 에너지 소비요인들이 이산화탄소 배출량에 미치는 총효과 비교

에너지원	도시 특성	인구 밀도	주택 특성	가구 특성	교통 기반	자가용 이용	도시가스 비중
석유 도시가스	-0.266***		-0.312**	-0.255**			-0.204***
전력	0.252***			0.372***			
자가용	0.081	-0.208**		0.472***	-0.662***	0.633***	
합계	-0.159***	-0.092**	-0.267**	0.038	-0.291***	0.278***	-0.175***

주. *, **, ***: 유의수준 0.1, 0.05, 0.01에서 유의함



[그림 4-4] 측정지표가 CO₂ 배출량에 미치는 영향력 크기 예시

택특성을 통해 가구의 총 이산화탄소 배출량에 미치는 영향은 신규주택비율이 주택특성에 미치는 영향(가중치=0.563)과 주택특성이 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량에 미치는 영향(경로계수=-0.312)의 곱(-0.18)으로 나타낼 수 있다.

따라서 (식 4-11)을 이용한 신규주택비율 증가에 따른 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량 감소효과는 다음과 같이 산출된다.

신규주택비율의 증가(표준편차: 8.0) →

석유·도시가스 소비에 의한 CO₂ 배출 감소량

$$\begin{aligned} &= (\text{가중치} * \text{경로계수}) * \text{석유도시가스에 의한 CO}_2 \text{ 배출량의 표준편차} \\ &= (0.563 * -0.312) * 222.1 = 39.0(\text{kgCO}_2) \\ &= -0.18 * 222.1 = 39.0(\text{kgCO}_2) \end{aligned}$$

즉 도시의 신규주택비율이 자신의 표준편차(8%p)만큼 증가하면 1인당 연간 이산화탄소 배출량은 39.0(kgCO₂)만큼 감소할 것으로 예측할 수 있다. 이 효과는 에너지 효율성이 높은 신규주택증가에 따른 석유·도시가스 소비량 감소 효과와 신규주택이 늘어나면서 도시가스 공급이 확대되어 이산화탄소 배출이 감소한 효과를 결합된 총효과이다.

동일한 방법으로 각 측정지표 변화에 따른 이산화탄소 배출량 증감의 예측치를 산출하면 [표 4-10]과 같다. 산출 결과 모든 측정지표들이 각자 자신의 1표준편차만큼 증가할 때, 인구밀도, 아파트비율, 신규주택 비율 등 9개 지표는 이산화탄소 배출량을 감소시키고, 재정자립도, 1인당 도로 길이, 승용차 보유대수와 이용횟수 등 4개 지표는 배출량을 증가시키는 것으로 나타났다.

에너지 소비요인별 합계를 보면 도시유형, 도시특성, 주택특성, 가구특성, 도시가스 비중은 이산화탄소 배출량을 감소시키고, 자가용 이용은 배출량을 증가시키며, 교통기반시설은 두 지표가 서로 반대 효과를 나타내며 변화가 없는 것으로 나타났다.

가장 큰 감소량을 보인 측정지표는 도시가스 비중으로 석유·도시가스 소비량 중 도시가스가 차지하는 비중이 약 28.9%p 증가하면 가구의 1인

당 이산화탄소 배출량이 연간 약 45.4(kgCO₂)감소하는 것으로 나타났다. 이어 대중교통종사자수, 아파트비율, 신규주택비율 증가에 따른 이산화탄소 배출량 감소가 큰 것으로 나타났다. 주택 특성에서 아파트 비율과 신규주택 비율은 1표준편차 증가할 때 즉 아파트 비율 13.8%p 증가와 신규주택 비율 8%p 증가하면, 각각 1인당 연간 약 39(kgCO₂)만큼 이산화탄소 배출량을 감소시킨다. 한편 자가용의 보유와 이용은 가구의 이산화탄소 배출량을 증가시키는 가장 큰 요인으로 가구의 승용차 보유대수가 0.1대 증가하고, 1인 1일 승용차 이용횟수가 0.08회 증가하면 각각 41.5(kgCO₂)의

[표 4-10] 측정지표별 이산화탄소 배출량 증감 예측결과

잠재변수	측정지표	변화량 (표준 편차)	측정지표별 이산화탄소 증감 (kgCO ₂ /인)				합계
			가구 합계	석유 도시가스	전력	자가용	
도시유형	수도권	0.482	-24.6	-35.2	5.1	5.5	-49.2
	일반시	0.482	-24.6	-35.2	5.1	5.5	
도시특성	인구밀도	6,637	-23.7			-23.7	-23.7
주택특성	아파트비율	13.8	-39.0	-39.0			-78.0
	신규주택비율	8.0	-39.0	-39.0			
가구특성	재정자립도	17.5	3.8	-21.7	4.9	20.6	-3.6
	65세이상 인구비율	5.6	-3.9	22.1	-4.9	-21.0	
	1인가구비율	4.8	-3.5	20.3	-4.5	-19.3	
교통기반 시설	대중교통 종사자수	1.0	-45.0			-45.0	0
	1인당 도로길이	2.1	45.0			45.0	
자동차 이용	승용차보유대수	0.1	41.6			41.6	83.1
	승용차이용횟수	0.08	41.6			41.6	
도시가스 비중	도시가스비중	28.9	-45.4	-45.4			-45.4

이산화탄소가 증가하게 된다.

한편 가구 특성, 교통기반시설은 잠재변수 내 측정지표가 서로 상충된 효과를 보이고 있다. 가구 특성을 보면 65세 이상 인구비율이 약 5.6%p 증가할 때 이산화탄소 배출량이 3.9(kgCO₂) 증가하고, 1인 가구 비율의 4.8%p증가는 약 3.5(kgCO₂)의 배출량을 감소시킨다. 그러나 재정자립도의 17.5%p 증가는 3.8(kgCO₂) 감소시킨다. 65세 이상 인구비율과 1인 가구 비율은 전력소비와 자가용이용에 따른 배출량은 감소시키지만 석유·도시가스 소비에 의한 배출량이 증가하는 효과를 보였고, 재정자립도는 두 측정 지표와는 반대의 효과를 나타내 하나의 요인이 각 에너지원별 배출량에 미치는 효과가 다를 수 있다. 마찬가지로 교통기반 시설 잠재변수에서는 대중교통종사자수가 1인 즉 인구 천 명당 1명의 대중교통종사자수가 늘어나면 약 45(kgCO₂)의 이산화탄소가 감소하지만, 동시에 1인당 도로 길이가 2.1m 증가하면 동일한 양만큼의 이산화탄소가 배출되어 교통기반 시설에 의한 이산화탄소 배출 효과는 상쇄되는 것으로 나타났다.

이와 같이 각 지표별 이산화탄소 배출량에 미치는 효과는 그 방향과 크기가 다르다. 그러나 각 지표별 변화를 위한 사회적 비용이 다르기 때문에 가장 효율적인 이산화탄소 감축 정책을 위해서는 그에 대한 고려가 필요하다. 예를 들어 아파트 비율과 신규주택비율은 각각 39(kgCO₂)의 이산화탄소를 감소시킨다. 그러나 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 아파트 비율 증가와 신규주택비율 증가 중 어느 것이 더 효율적인 방안인가에 대한 판단은 그에 따른 사회적 비용을 포함하여 판단해야한다.

제 4 절 소 결

우리나라 도시 가구부문의 에너지 소비요인과 이산화탄소 배출구조를 PLS-구조방정식 모형을 이용하여 분석한 결과, 가구의 에너지 소비요인으로 선정된 도시 유형, 도시특성, 주택특성, 가구특성, 교통기반시설, 자가용이용 등 6개 요인들은 모두 가구부문의 에너지 소비량과 에너지를 통

해 이산화탄소배출에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

신규·아파트 주택을 나타내는 주택특성은 석유·도시가스 소비량을 감소시키면서 동시에 도시가스 비중을 증가시킴으로써 석유·도시가스 소비로 인한 이산화탄소 배출량을 크게 감소시키는 요인으로 나타났으며, 가구의 자가용 보유와 이용은 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량을 크게 증가시키고, 대중교통보급은 자가용 이용의 배출량을 감소시키는 결과를 보였다. 한편 가구특성은 가구의 에너지원별 소비에 모두 유의한 직·간접 효과를 보였다. 고소득·젊은층·2인 이상 가구를 의미하는 가구특성은 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 감소시키지만, 전력소비와 자가용이용에 따른 배출량은 증가시키는 것으로 나타나 에너지원별로 상충된 효과를 나타냈다.

가구특성과 주택특성이 가구의 에너지원별 소비에 직접 영향을 미치는 것과 달리 도시유형과 도시특성은 에너지원별 소비와 이산화탄소 배출에 간접적인 영향만을 미치는 것으로 나타났다. 비수도권과 도농통합시에 대비한 수도권과 일반시의 영향을 나타내는 도시유형은 주택특성, 가구특성, 교통기반시설에 영향을 미침으로써 전력 소비로 인한 배출량은 증가시키나, 석유·도시가스 소비에 의한 배출량은 감소시키는 요인으로 나타났으며, 증가효과보다 감소효과가 더 커 수도권 도시와 일반시의 가구가 비수도권 도시와 도농통합시에 비해 이산화탄소 배출량이 적은 것으로 나타났다. 한편 고밀도시를 나타내는 도시특성은 도시의 교통기반시설 즉 대중교통보급 수준을 향상시킬 수 있는 도시형태로써 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것으로 나타나 압축도시가 도시의 교통부문 이산화탄소 배출량 감소에 유리한 도시 형태임을 보였다.

이와 같이 에너지 소비요인들은 가구부문의 에너지 소비와 에너지원 그리고 이산화탄소 배출에 직·간접 영향을 미치고 있다. 그리고 일부 요인들은 에너지원별 이산화탄소 배출에 미치는 영향이 서로 상충된 결과를 보이기도 하고, 도시유형과 같이 증가효과와 감소효과를 모두 가지고 있기 때문에 효과가 유의하지 않은 것처럼 보이기도 한다. 따라서 가구부문의 에너지 소비요인을 도출하고 각 요인들이 에너지 소비와 이산화탄소 배출

에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 가구에서 소비되는 에너지를 용도와 에너지원별로 세분화한 연구가 필요할 것으로 보인다. 특히 에너지원별 탄소 배출계수의 차이로 동일한 소비량 변화에도 에너지원별 이산화탄소 배출의 증감이 다르기 때문에, 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출의 중요성이 강조될수록 에너지원별로 세분화한 연구가 더욱 필요할 것이다.

제 5 장 결론 및 시사점

제 1 절 요약 및 결론

이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 다양한 학문분야에서 에너지 소비 감소를 위한 연구들이 이루어져왔다. 특히 가구 부문은 산업·상업·수송 등 다른 에너지 소비부문에 비해 에너지 소비 감소효과가 크고 빠르게 나타나는 것으로 인식되고 있다.

본 연구는 가구부문의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들을 도출하고 각 요인들이 에너지원별 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 구조를 분석하는데 목적을 두었다. 국내 81개 도시를 대상으로 가구부문의 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 자료와 PLS-구조방정식 모형을 이용하여 가구부문의 이산화탄소 배출구조를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가구부문의 에너지 소비요인으로 선정한 가구, 주택, 교통기반시설, 자가용 이용, 도시유형, 도시특성 등 6개 요인들은 가구부문의 에너지 소비와 에너지원에 영향을 미침으로써 이산화탄소 배출에 직·간접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 가구부문의 에너지 소비를 석유·도시가스, 전력, 자가용 에너지 소비로 구분해보면, 주택특성(신규주택·아파트), 가구 특성(고소득·젊은층·2인이상 가구)은 모두 석유·도시가스 소비에 의한 이산화탄소 배출량 감소효과를 보였다. 특히 주택 특성은 탄소 배출량이 적은 도시가스 비중을 증가시킴으로써 이산화탄소 배출량을 줄이는 간접효과도 함께 나타내 난방에너지로 사용되는 석유·도시가스 소비가 주택의 물리적 성능에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

이와 달리 전력은 물리적 환경보다 가구의 사회·경제적 특성에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타나 주택 내에서 에너지의 용도에 따라 소비요인에 차이가 있음을 알 수 있다. 자가용 에너지 소비의 가장 큰 증가 요인은 가구의 자가용 이용 특성(자가용 보유와 이용 특성)이며 대중교통 중심의 교통기반시설은 자가용 에너지 소비를 유의하게 감소시키는 것으로 나타

났다. 그리고 도시유형(수도권과 일반시)과 도시특성(인구밀도)은 에너지원 별 소비에 간접적으로 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 도시유형은 주택특성, 가구특성을 증가시켜 석유·도시가스 소비량은 감소시키고 전력은 증가시키며, 도시특성은 교통기반시설을 증가시켜 교통에너지 소비량은 줄이는 유의한 간접효과를 보였다.

이산화탄소 배출구조 모형을 통해 도시의 다양한 특성들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 직·간접 영향이 에너지원별로 다르게 추정되었다. 즉, 에너지 소비요인이 에너지원별 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 보면 특정한 요인이 2개 이상의 에너지원에 영향을 미치고, 직접적인 영향 외에도 간접적인 영향도 미치고 있다. 특히 2개 이상의 에너지원 또는 하나의 에너지원에 미치는 영향력이 상충되는 경우에는 에너지 소비요인이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 총영향력을 파악하기 매우 어렵다.

에너지 소비요인 중 가구특성과 도시유형은 모든 에너지원에 직·간접 영향을 미치면서 상충된 영향을 미치기 때문에 두 요인이 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 예측하는 것이 상당히 어렵다. 가구특성과 도시유형은 모두 석유·도시가스에 의한 이산화탄소배출은 줄이지만 전력과 자가용에 의한 배출량은 증가시키는 효과를 보인다. 두 특성 모두 증가효과에 비해 감소효과가 크기 때문에 결과적으로 가구부문의 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것으로 나타났으나 두 특성이 가구부문의 이산화탄소 배출에 대한 증가효과와 감소효과를 모두 갖고 있기 때문에 향후 두 특성의 영역에서 나타나는 사회적 변화들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향력을 정확하게 예측하기 힘들 것임을 시사해준다.

가구특성에서 소득수준과 고령화·가구규모 감소는 에너지원별 영향이 반대로 나타나 이후 가구의 사회·경제적 특성과 생활양식의 변화가 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 예측하기 더욱 어렵다. 일반적으로 소득 증가가 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 증가시키는 것으로 알려져 있지만, 소득 증가에 따라 여가 시간의 증대에 따른 주택 내 거주시간

감소와 열효율이 높은 주택의 거주 가능성이 높아지면서 석유·도시가스에 의한 이산화탄소 배출량은 감소하기 때문에 실제 이산화탄소 배출량 증가 효과는 크지 않다. 이와 반대로 고령화와 가구규모의 감소는 전력과 자가용 이용의 감소효과가 주택 내 시간 증대로 인한 석유·도시가스 소비 증가보다 크기 때문에 오히려 가구부문의 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있다. 따라서 도시의 사회·경제적 변화가 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하고 예측하기 위해서는 가구 특성에 대한 매우 세분화되고 미시적인 조사와 분석이 선행되어야 할 것이다.

에너지 소비요인이 이산화탄소 배출량에 미치는 간접적인 영향은 도시가 갖고 있는 사회·물리적 특성에서 잘 나타난다. 도시 유형은 세 에너지원에 모두 간접적인 영향을 미치고 있으며 도시특성(압축성)은 자가용 에너지 소비를 줄이는 간접적인 영향력을 나타냈다. 이와 같이 도시특성들이 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 간접영향의 경로와 크기를 분석하는 것은 저탄소 도시계획에서 매우 중요하다. 그동안 이루어진 선행연구들을 보면 도시의 형태, 밀도, 공간구조와 같은 도시특성들이 가구부문의 이산화탄소 배출량에 미치는 영향에 대해 다른 결론을 보였다. 이는 도시 특성들과 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출 간 직접적인 관계에만 초점을 두고 간접적으로 영향을 미치는 경로에 대한 연구가 부족했기 때문이라고 볼 수 있다. 본 연구 결과 도시유형이 자가용 에너지 소비에 간접적으로 증가효과와 감소효과를 모두 나타내고 있는데 이는 그동안 선행연구에서 도시특성이 교통에너지 소비에 미치는 영향이 왜 다르게 나타났는지에 대한 설명을 가능하게 한다. 도시의 인구의 사회·경제적 구성에 따른 자가용 이용 증가와 교통기반시설 여건에 따라 도시특성의 증가효과가 더 크게 나타날 수도 있고 감소효과가 더 클 수도 있기 때문에 서로 다른 결과를 나타냈다고 볼 수 있다. 따라서 도시특성이 가구부문의 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 도시특성의 간접 경로와 가구, 주택 등 도시 구성요소와의 관계를 고려한 구조적이면서 통합적인 분석이 필요하다.

가구부문의 에너지 소비요인 도출 및 이산화탄소 배출구조 분석을 통한

본 연구의 의의를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 그동안 주택 내 주거에너지로 한정되어 오던 가구부문의 에너지 소비에 대한 관점을 확장하여 자가용 에너지까지 포괄함으로써 가구부문의 에너지 소비에 관점을 확장하고 통합된 정보를 제공했다는 데 의의를 찾을 수 있다. 가구의 활동이 한정된 시간과 자원 내에서 이루어진다는 점을 고려하면, 주택 외부 활동의 증가는 주거에너지 소비를 감소시키고 자가용 에너지 소비를 증가시킬 수 있는 것과 같이 두 부문의 에너지 소비는 독립적이지 않다. 따라서 가구의 에너지 소비요인과 변화를 파악하기 위해서는 주택 내외에서 소비하는 에너지를 모두 통합한 접근방법이 필요하다.

둘째, 에너지 소비요인들이 가구부문의 에너지 소비에 미치는 영향을 에너지원별로 구분하여 분석함으로써 이산화탄소 배출 변화에 대한 상세한 정보를 제공하였다. 하나의 에너지 소비요인이 에너지원별 소비에 미치는 영향이 다르기 때문에 각 요인들이 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하고 이산화탄소 배출량 변화를 예측하기 위해서는 에너지 소비를 용도와 에너지원별로 세분화된 분석이 필요하다.

셋째, 다양한 요인들이 가구부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향력을 분석하는 방법으로 PLS-SEM을 소개하고, 국내 자료를 이용한 실증 분석을 통해 그 유용성을 검증하였다. 최근 가구부문의 에너지 소비구조와 메커니즘에 초점을 두고 있는 연구들은 가구, 주택, 도시 등 다양한 수준의 요인 간 상호관계를 통합적으로 분석할 수 있는 방법론을 모색하고 있다. 본 연구의 분석방법으로 사용된 PLS-SEM은 다수의 요인 간 인과관계를 분석하면서도 유연한 가정을 통해 다양한 구조와 가정을 검증할 수 있다는 점에서 아직 정형화되지 않은 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출구조를 설정하고 분석하는데 적합한 분석방법이라고 할 수 있다.

그러나 본 연구는 가구의 에너지 소비 행태를 알 수 있는 미시적 자료의 한계로 인해 다양한 사회·경제적 요인들이 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 도시 가구부문의 에너지 소비 자료를 통해 간접적으로 파악한 한계를 갖고 있다. 가구의 에너지는 가구원들의 일상

활동에 의해 소비되기 때문에 에너지 소비요인을 도출하고 그 변화를 예측하기 위해서는 개인의 에너지 소비행태에 대한 상세한 분석이 필요하다. 특히 다양한 목적의 활동이 함께 이루어지는 주거에너지 소비요인을 분석하기 위해서는 가구의 소비행태를 목적에 따라 세분화한 분석이 필요하다. 또한 시계열 자료의 부족으로 에너지 소비의 동태적 변화를 파악하지 못하고 있다. 가구의 에너지 소비는 가구의 사회·경제적 특성과 주택, 기반 시설과 같은 요인들이 상호 영향을 미치기 때문에 각 요인 간 상호작용이 가구의 에너지 소비에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 시계열의 자료를 이용한 동태적 변화를 분석할 필요가 있다. 향후 가구의 사회·경제적 속성과 에너지 소비행태를 파악할 수 있는 자료 구축을 통해 가구와 사회의 구조적 변화가 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 미치는 영향에 대한 통합적 연구가 이루어져야 할 것이다.

제 2 절 정책적 시사점

본 연구의 결과를 통해 에너지 소비와 이산화탄소 배출 감소를 위한 다음과 같은 정책적 시사점을 도출하였다.

첫째, 가구부문의 이산화탄소 배출량 감소를 위해서는 저소득층의 노후 주택 개량을 위한 공공정책이 필요하다. 신규 및 공동 주택은 노후·단독주택에 비해 열효율 개선과 도시가스 공급 확대를 통해 석유·도시가스 소비로 인한 이산화탄소 배출량이 적다. 따라서 신규주택에 대한 에너지 열효율 등급 강화와 노후주택의 개량이 가구부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출을 줄이는데 효과적인 정책으로 볼 수 있다. 그러나 노후 주택은 저소득층이 생활할 가능성이 높기 때문에 스스로 주택을 개량하는 데는 한계가 있다. 따라서 도시 가구부문의 이산화탄소 배출량 감소를 위해서는 저소득층에 대한 공공 노후주택 개량 사업이 필요할 것으로 보인다.

둘째, 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량 변화를 예측하고 대비하기 위해서는 지역의 인구·사회적 구성에 대한 고려가 필요하다. 에너지 고

효율 주택과 기기의 보급은 가구부문 에너지 소비를 줄임으로써 이산화탄소 배출을 감소시킬 것이다. 그러나 그 효과는 지역의 소득·연령 구조 그리고 가구의 구성과 규모에 따라 다를 것이다. 왜냐하면 지역의 인구와 가구 구성에 따라 에너지 소비량뿐만 아니라 에너지원별 소비량이 다르기 때문이다. 본 연구의 결과에 따르면 고령 인구나 1인 가구가 많은 지역은 동일한 인구 규모에서도 석유·도시가스 소비량은 많고 전력과 자가용 이용에 따른 에너지 소비는 적게 나타난다. 따라서 이와 같은 인구와 가구 구성을 지닌 지역에서는 노후주택 개량 사업이 가장 효율적인 에너지 절약 정책이 될 수 있으며, 반대의 경우 주택 개량보다 고효율 전기 기기의 보급과 대중교통서비스 공급을 늘리는 것이 더욱 효과적인 에너지 절약 정책이 될 것이다. 즉 지역 맞춤형 에너지 소비와 이산화탄소 배출 감소 정책은 인구와 가구특성에 따른 에너지 소비와 이산화탄소 배출 차이에 대한 이해가 바탕이 되어야 할 것이다.

셋째, 저탄소를 지향하는 도시계획을 수립하기 위해서 도시특성과 가구, 주택, 교통기반시설 등 도시 구성요소를 함께 고려한 통합적 접근방법이 필요하다. 도시 특성들은 가구부문의 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치지 않지만, 가구부문의 에너지 소비에 직접 영향을 미치는 가구, 주택, 교통기반시설을 통해 간접인 영향을 미친다. 즉, 도시특성들은 이산화탄소 배출량을 감소시키는데 있어서 상당한 영향력을 미치고 있다. 더구나 도시 특성의 간접 영향은 이산화탄소에 대한 증가효과와 감소효과를 모두 갖고 있으며, 그 효과의 크기와 방향은 도시 구성요소들과의 관계에 따라 달라진다. 따라서 도시에서 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위해서는 도시의 형태, 공간구조, 입지 등 도시특성, 주택, 도로, 대중교통 등 기반시설 그리고 주민의 사회·경제적 구성 간 관계를 고려한 통합적 도시계획이 필요하다.

참 고 문 헌

1. 강창덕(2011), “공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제-전력과 도시가스 소비를 중심으로”, 「서울도시연구」, 12(4): 1-22.
2. 교통안전공단(2011), 2010년도 자동차 주행거리 실태분석 연구.
3. 국토연구원(2009), 기후변화에 대응한 지속가능한 국토관리전략(Ⅱ): 기후변화 완화 및 적응을 위한 정책 과제 도출,
4. 김규일·이창효·이승일(2010), “DELTA 모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출 시나리오 분석 - 네덜란드 Delft시를 사례로-”, 「국토계획」, 45(6): 117-135.
5. 김리영·서원석(2011), “압축도시 특성이 지역별 교통에너지 소비에 미치는 영향 분석: 수도권·비수도권 간의 차이를 중심으로”, 「한국지역개발학회지」, 23(1): 33-54.
6. 김민주·양지청·정창무(2010), “토지복합이용에 따른 이산화탄소 발생량 변화에 관한 연구-서울시를 대상으로-”, 「국토계획」, 45(6): 35-43.
7. 김선희·정일호·김성수·정진규(2003), 자원절약적 국토발전방안 연구: 국토·도시 공간구조와 교통에너지 소비와의 관계를 중심으로, 국토연구원.
8. 김성태(2004), “한국지방자치단체의 지방재정자립도 결정요인 분석”, 「한국동서경제연구」, 16(1): 1-18.
9. 김승남·이경환·안건혁(2009), “압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향”, 「국토계획」, 44(2): 231-243.
10. 김유란·홍원화·서윤규·전규엽(2011), “공동주택 가족 구성원별 전력소비 성향에 관한 연구”, 「한국주거학회 논문집」, 22(6): 43-50.
11. 김태현·김홍규·한순금(2011), “읍·면·동의 공간적 특성이 가구의 음식, 주거, 통행 에너지 사용에 미치는 영향 분석-경기도 생태발자국 설문을 중심으로-”, 「국토계획」, 46(1): 117-127.
12. 남기찬·김지소·김호석(2010), “토지이용정책과 교통에너지 소비: 도시동태모형의 구축”, 「에너지경제연구」, 9(1): 55-75.
13. 남창우·권오서(2005), “중소도시의 교통에너지 소비 특성에 관한 연구”, 「한국지방자치학회」, 7(2): 169-187.
14. 노승철·이희연(2013), “가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분

- 석”, 「국토계획」, 48(2): 295-312.
15. 명수정·김용건·강광규·한상운·강민수·김이진(2010), 녹색생활양식 확산을 통한 온실가스 감축방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.
 16. 박지형·노정현·성현곤(2008), “구조방정식모형을 활용한 TOD 계획요소의 대중교통 이용효과 분석”, 「국토계획」, 43(5): 135-151.
 17. 배민호·이은주·박은미·김동호·김재민·조수(2008), 요소기술 및 사용자 정책이 건물에너지 절감에 미치는 기여도 분석을 위한 기초 연구“, 「한국건축친환경설비 학회, 2008년 춘계학술대회발표논문집」: 3-24.
 18. 송기욱, 남진(2009), “압축형 도시특성 요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석”, 「국토계획」, 44(5): 193-206.
 19. 서민호·김세용(2011), “도시형태계획요소와 통행행태 특성요소간 연관성 분석 - 도시규모입지에 따른 녹색도시 계획 정책을 중심으로-”, 「국토계획」, 46(4): 223-244.
 20. 서현철·홍원화·남경목(2012), “거주자 구성유형 및 소득수준에 따른 주거용 건물 내 전력소비성향”, 「한국주거학회논문집」, 23(6): 31-38.
 21. 성현곤·추상호(2010), “근린생활권 단위의 압축도시 개발이 통행수단 분담율과 자족성에 미치는 효과 분석”, 「국토계획」, 45(1): 155-169.
 22. 송승영·이수진(2008), “에너지 절약형 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용 효율 분석 및 설계모델 설정”, 「대한건축학회논문집 계획계」, 24(11): 329-340.
 23. 신상영(2004), “토지이용과 자동차의존성 간의 관계”, 「서울도시연구」, 5(1), 71-93.
 24. 안건혁(1998), “에너지 절감을 위한 적정 도시개발밀도에 관한 연구”, 「국토연구」, 27: 19-30.
 25. _____(2000), “도시형태와 에너지 활용과의 관계 연구”, 「국토계획」, 35(2): 9-17.
 26. 양희진·최막중(2011), “압축도시의 탄소증감 효과에 관한 건물·교통·녹지 통합 모형”, 「국토계획」, 46(3): 281-292.
 27. 에너지관리공단(2007), 에너지 기후변화 편람.
 28. _____(2011a), 에너지 기후변화 편람.
 29. _____(2011b), 2010 자동차 에너지 소비효율 분석집.

30. 에너지관리공단·신재생에너지센터(2010), 2009년 신·재생에너지 보급통계.
31. 오세진·양병화·현보성·김형수(2001), “에너지 절약 행동을 위한 선행요인들의 효과모델 검증”, 「한국심리학회지: 사회문제」, 7(1): 37-62.
32. 오숙영(2012), “PLS 구조방정식 모형을 활용한 부모 SES, 사교육, 자기조절 학습능력, 학업성취 간의 관계 연구”, 「교육문제연구」, 42: 203-243.
33. 원두환(2012), “고령화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력 수요를 중심으로”, 「자원·환경 경제연구」, 21(2): 341-369.
34. 유선철·조규영·왕광익(2011), “토지이용-교통 통합모형 구축 및 계획 간 정합성 평가에 관한 연구”, 「국토계획」, 69: 19-23.
35. 이경환(2010), “압축도시 개발이 대중교통을 이용한 통근통행에 미치는 영향 -한국의 54개 중소도시를 대상으로-”, 「한국방재학회논문집」, 10(2): 55-60.
36. 이성근(2010), 가정 부문 용도별 에너지 소비량 및 소급추정에 관한 연구, 에너지경제연구원 기본연구보고서 10-05.
37. 이성근·이성인(2008), 국가에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구 - 가정·상업부문의 에너지 효율 평가-, 에너지경제연구원 기본연구보고서 08-10.
38. 이승일(1999), “환경친화적 도시공간구조 분석을 위한 방법론”, 「국토연구」, 28: 45-60.
39. _____(2010), “저탄소·에너지 절약도시 구현을 위한 우리나라 대도시의 토지 이용-교통모델 개발방향”, 「국토계획」, 45(1): 265-281.
40. 이용학·임기추(2010). “가정 부문 에너지 소비자의 라이프스타일이 에너지 절약행동에 미치는 영향”, 「상품학연구」, 28(4):1-10
41. 이윤재·이현수·박소윤(2011). “공동주택 거주자의 에너지 사용행태 및 에너지 절약 의식 분석”, 「한국주거학회논문집」, 22(6): 31-42.
42. 이주일(2007), 공간구조 및 교통수단의 변화가 교통에너지 소비에 미치는 영향, 서울시정개발연구원.
43. 이희연(2007), “지속가능한 도시개발을 위한 계획지원시스템의 구축과 활용에 관한 연구”, 「대한지리학회지」, 42(1): 133-155.
44. 이희연·노승철(2012), 고급통계분석론-이론과 실습-, 법문사
45. 임기추(2008), 에너지 절약 정보유형의 가정부문 에너지 소비 영향 분석, 에

너지경제연구원.

46. 임기추, 강윤영(2004), 생활양식이 가정부문 에너지 소비에 미치는 영향 분석, 에너지경제연구원.
47. 장명준·김태호(2012), “PLS-구조방정식을 활용한 토지이용 유형별 개발밀도와 지가의 인과관계 분석 및 정책적 시사점 연구: 서울시 25개 자치구 대상으로”, 「한국도시행정학회보」, 25(3): 65-87.
48. 정아름·정민희·이언구(2010), “도시형태에 따른 신재생에너지 잠재성 평가에 관한 연구”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 30(2): 22-32.
49. 조운애(2011), “에너지 절감을 위한 적정도시 개발밀도”, 「한국행정논집」, 23(4): 1263-1279.
50. 조운애·김경환(2008), “도시개발밀도가 에너지 효율성에 미치는 영향”, 「한국정책학회보」, 17(4): 113-134.
51. 지식경제부(2011), 에너지총조사.
52. 지식경제부·에너지경제연구원(2011), 2011 지역에너지통계연보.
53. 지식경제부·에너지관리공단(2009), 국가온실가스 배출량 분석 보고서(가정·상업 부문).
54. _____(2010), 국가온실가스 배출량 분석 보고서(수송 부문).
55. 최남숙(2003), “에너지 절약에 대한 교육 효과 연구 -대학생의 에너지 절약 교육 경험을 중심으로-”, 「한국가족자원경영학회지」, 7(1): 91-101.
56. 통계청(2010), 2010년 인구주택총조사 (<http://kosis.kr>)
57. 한국도시가스협회(2010), 2010년 회사별 용도별 수요가수 및 공급량, (<http://www.citygas.or.kr/index.jsp>)
58. 한국석유공사(2011), 2010년 석유류 수급통계
59. 황금희(2001), 교통에너지절약형 도시성장 패턴구축을 위한 토지이용 전략, 경기개발연구원.
60. 황지욱·김소정(2003), “도시열섬현상의 주거형태별 비교분석”, 「국토계획」, 38(7): 235-244.
61. Adua, L.(2010), “To cool a sweltering earth: does energy efficiency improvement offset th climate impacts of lifestyle?”, *Energy Policy*, 38: 5719-5732.

62. Baiocchi, G., Minx, J. and Hubacek, K.(2010), "The impact of social factors and consumer behavior on carbon dioxide emissions in the United Kingdom", *Journal of Industrial Ecology*, 14(1): 50-72.
63. Bin, S. and Dowlatabadi, H.(2005), "Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions", *Energy Policy*, 33: 197-208.
64. Boarnet, M. and Sarmiento, S.(1998), "Can land use policy really affect travel behaviour? A study of the link between non-work travel and land-use characteristics", *Urban Studies*, 35(7): 1155-1169.
65. Breheny, M.(1995), "The compact city and transport energy consumption", *Transactions of the Institute of British Geographers*, 20(1): 81-101.
66. Chin, W. W.(2010), "How to write up and report PLS analyses", In Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J., and Wang H.(eds.), *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 655-690.
67. Cervero, R.(1996), "Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American housing survey", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(5): 361-377.
68. Cervero, R., and Murakami, J.(2010), "Effects of built environments on vehicle miles traveled: evidence from 370 US urbanized areas", *Environments and Planning A*, 42: 400-418.
69. Crosbie, T.(2006), "Household energy studies: the gap between theory and method", *Energy & Environment*, 17(5): 735-753.
70. Dieleman, F., Dijst, M. and Burghouwt, G.(2002), "Urban form and travel behaviour: Micro-level household attributes and residential context", *Urban Studies*, 39(3): 507-527.
71. Dholakia, R.R., Dholakia, N., and Firat, A.F.(1983). "From social psychology to political economy: a model of energy use

- behaviour". *Journal of Economic Psychology*, 3(1983): 231-247.
72. Druckman, A. and Jackson, T.(2008), "Household energy consumption in the UK: A highly geographically and socio-economically disaggregated model", *Energy Policy*, 36: 3177-3192.
 73. Esposito Vinzi, V., Trinchera, L., and Amato, S.(2010) " PLS path modeling: form foundationis to recent developments and open issues for model assessment and improvement", In Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J., and Wang H.(eds.), *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 47-82.
 74. Ewing, R. and Cervero, R.(2010), "Travel and the built environment", *Journal of American Planning Association*, 76(3): 265-294.
 75. Ewing, R. and Rong, F.(2008), "The impact of urban form on U.S. residential energy use", *Houseing Policy Debate*, 19(1): 1-30.
 76. Fong, W.K., Matsumoto, H, Lun, Y.F and Kimura, R.(2007), "Influences of indirect lifestyle aspects and climate on household energy consumption", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 6(2): 395-402.
 77. Glaeser, E. L. and Kahn, M. E.(2010), "The greenness of cities : Carbon dioxide emissions and urban development", *Journal of Urban Economics*, 67(3): 404-418.
 78. Goldblatt, D. L.(2005), *Sustainable Energy consumption and Society: Personal, Technological or Social Change?*, Chapter 1, 2, 5, Springer, Dordrecht.
 79. Gordon, P. and Richardson, H.(1989), "Gasoline consumption and cities: a reply", *Journal of American Planning Association*, 55: 342-346.
 80. Gotz, O., Liehr-Goobers, K., and Krafft, M.(2010), "Evaluation of structural equation models using the partial least squares(PLS) approach", In Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J., and

- Wang H.(eds.), *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 691-711.
81. Gram-Hassen, K.(2009), "Standby consumption in households analyzed with a practice theory approach", *Journal of Industrial Ecology*, 14(1): 150-165.
 82. Grazi, F., van den Berge, J. C.J.M. and Ommeren, J.(2008), "An empirical analysis of urban form, transport and global warming", *The Energy Journal*, 29(4): 98-122.
 83. Gray, R., Gleeson, B. and Burke, M.(2010), "Urban consolidation and household greenhouse emissions and the role of planning", *Urban Policy and Research*, 28(3): 335-346.
 84. Greening, L. A., Greene, D. L., and Difiglio, C.(2000), "Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey", *Energy Policy*, 28(2000): 389-401.
 85. Guerin, D. A., Yust, B. L., and Coopet, J. G.(2000), "Occupant predictors of household energy behavior and consumption change as found in energy studies since 1975", *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 29(1): 48-80.
 86. Hair, J. F., Ringle, C. M., and Sarstedt, M.(2011), "PLS-SEM: Indeed a silver bullet", *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2): 139-151.
 87. Heinonen, J. and Junnila, S.(2011), "A carbon consumption comparison of rural and urban lifestyles", *Sustainability*, 3: 1234-1249.
 88. Henseler, J., and Sarstedt, M.(2012), "Goodness-of-fit indices for partial least squares path modeling", *Computational Statistics*, March, 2012, electronic version,
(<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00180-012-0317-1>)
 89. Herring, H.(2006), "Energy efficiency-a critical view", *Energy*, 31: 10-20.

90. Hillman, T. and Ramaswami. R.(2010). "Greenhouse Gas Footprints and Energy Use Benchmarks for Eight US Cities", *Environmental Science & Technology*, 44(6): 1902-1910.
91. Hitchcock, G.(1993), "An integrated framework for energy use and behavior in the domestic sector", *Energy and Building*, 20: 151-157.
92. Holden, E., and Norland, I. T.(2005), "Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the Greater Oslo Region", *Urban Studies*, 42(12): 2145-2166.
93. IEA(2011), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights*.
94. IPCC(2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
95. Ironmonger, D. S., Aitken, C. K. and Erbas, B.(1995), "Economies of scale in energy use in adult-only households", *Energy Economics*, 17(4): 301-310.
96. Janda, K. B.(2011), "Buildings don't use energy: people do", *Architectural Science Review*, 54: 15-22.
97. Jiang, L. and Hardee, K.(2011), "How do recent population trends matter to climate change?", *Population Research and Policy Review*, 30: 287-312.
98. Keirstead, J.(2006), "Evaluating the applicability of integrated domestic energy consumption frameworks in the UK", *Energy Policy*, 34: 3065-3077.
99. Kelly, S.(2011), "Do homes that are more energy efficient consume less energy?: A structural equation model of the English residential sector", *Energy*, 36: 5610-5620.
100. Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havranek, M., Patake, K., Phdungsilp, A., Ramaswami, A. and Mendez, G. V.(2009), "Greenhouse gas emissions from global cities", *Environmental Science & Technology*, 43(19): 7292-7302.

101. Kenworthy, J. R. and Laube, F. B.(1996), "Automobile dependence in cities: An international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability", *Environmental Impact Assessment Review*, 16: 279-308.
102. Kerkhof, A. C., Benders, R. M.J., and Moll, H. C.(2009), "Determinants of variation in household CO₂ emissions between and within countries", *Energy Policy*, 37: 1509-1517.
103. Kock, N.(2012), WarpPLS 3.0 User Manual,
(<http://www.scriptwarp.com/warppls/>).
104. Kriström, B.(2008), "Residential energy demand", In OECD(2008), *Household Behaviour and the Environment, Reviewing the Evidence*, pp.95-115.
105. Lin, J., and Yang, A.(2009), "Structural analysis of how urban form impacts travel demand: evidence from Taipei", *Urban Studies*, 46(9): 1951-1967.
106. Liu, C. and Shen, Q.(2011), "An empirical analysis of the influence of urban form on household travel and energy consumption", *Computers, Environments and Urban Systems*, 35: 347-357.
107. Lopes, M. A. R., Antunes, C. H., and Martins, N.(2012), "Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 4095-4104.
108. Lutzenhiser, L.(1992), "A cultural model of household energy consumption", *Energy*, 17(1): 47-60.
109. Lutzenhiser, L., Moezzi, M., Hungerford, D., and Friedmann, R.(2010), "Sticky points in modeling household energy consumption", In Proceedings of ACEEE summer study on energy efficiency in buildings, Pacific Grove, CA, 7: 167-182.
110. Marshall, J.(2008), "Energy-efficient urban form", *Environmental Science & Technology*, 42: 3133-3137.

111. MacKeller, F. L., Lutz, W., Prinz, C. and Goujon, A.(1995), "Population, households, and CO₂ emissions", *Population and Development Review*, 21(4): 849-865.
112. Mindali, O., Raveh, A. and Salomon, I.(2004), "Urban density and energy consumption: A new look at old statistics", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(2): 143-162.
113. Moezzi, M., and Lutzenhiser, L.(2010), "What's missing in theories of the residential energy user", In Proceedings of the ACEEE summer study on energy efficiency in buildings, Pacific Grove, CA, 7: 207-221.
114. Newman, P.W.G. and Kenworthy, J. R.(1989), "Gasoline consumption and cities: A comparison of U.S. cities with a global survey", *Journal of the American Planning Association*, 55(1): 24-37.
115. _____(2006), "Urban design to reduce automobile dependence", *Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies*, 2(1): 35-52.
116. Newton, P. and Meyer, D.(2012), "The determinants of urban resource consumption", *Environments and Behavior*, 44(1): 107-135.
117. Norman, J., Maclean, H. L., Asce, M. and Kennedy, C. A.(2006), "Comparing high and low residential density_ Life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions", *Journal of Urban planning and Development*, 132(1): 10-21.
118. Nugroho, S. B., Fujiwara, A., Zhang. J., Kanemoto, K., Moersidik, S. S.,and Abbas, S.(2010), "Development of a household energy consumption model for megacities in Asia." Proceeding of International sustainable development research conference. 2010.
119. O'Neill, B. C. and Chen, B. S.(2002), "Demographic determinants of household energy use in the united states", *Population and*

- Development Review*, 28(supplement): 53-88.
120. Owens, S.(1992), "Energy, environmental sustainability and land-use planning", In Breheny, M. J.(eds), *Sustainable development and Urban Form*, pp.79-105.
 121. Peattie, K.(2010), "Green consumption: Behavior and Norms", *The Annual Review of Environment and Resources*, 35: 195-228.
 122. Peng, D. X., and Lai, F.(2012), "Using partial least squares in operations management research: A practical guideline and summary of past research", *Journal of Operations Management*, 30: 467-480.
 123. Perkins, A., Hamnett, S., Pullen. S., Zito., R., and Trebilcock. D.(2009), "Transport, housing and urban form: the life cycle energy consumption and emissions of city centre apartments compared with suburban dwellings", *Urban Policy and Research*, 27(4): 377-396.
 124. Qin, B., and Han, S. S.(2013), "Planning parameters and household carbon emission: Evidence from high- and low-carbon neighborhoods in Beijing", *Habitat International*, 37: 52-60.
 125. Ren, Z., Paevere, P., and McNamara, C.(2012), "A local-community-level, physically-based model of end-use energy consumption by Australian housing stock", *Energy Policy*, 49: 586-596.
 126. Reusswig, F.(2010). Sustainability transitions through the lens of lifestyle dynamics. In Lebel, L., Lorek, S., and Daniel, R., (eds.), *Sustainable Production and Consumption Systems. Knowledge, Engagement and Practice*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York, Berlin: Springer, pp.39-60.
 127. Rickwood, P., Glazebrook, G., and Searle, G.(2008), "Urban structure and energy-a review", *Urban Policy and Research*, 26(1): 57-81.
 128. Sarstedt, M., Henseler, J., and Ringle, C. M.(2011), "Multigroup

- Analysis in partial least squares(PLS) path modeling: alternative methods and empirical results", *Advances in International Marketing*, 22: 195-218.
129. Saunders, H.,(2013) "Is what we think of as "rebound" really just income effects in disguise?", *Energy Policy*, 2013, (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.056i>)
 130. Schipper, L., Bartlett, S., Hawk, D. and Vine, E.(1989), "Linking life-style and energy use: a matter of time?", *Annual review of Energy*, 14: 273-320.
 131. Steemer, K. and Yun, G. Y.(2009), "Household energy consumption: a study of the role of occupants", *Building Research & Information*, 37(5): 625-637.
 132. Stephenson, J., Barton, B., Carrington, G., Gnoth, D., Lawson, R., and Thorsnes, P.(2010), "Energy cultures: A framework for understanding energy behaviors", *Energy Policy*, 38: 6120-6129.
 133. van de Coevering, P. and Schwanen, T.(2006), "Re-evaluating the impact of urban form on travel patterns in Europe and North America", *Transport Policy*, 13: 229-239.
 134. van de Weghe, J. R. and Kennedy, C.(2007), "A spatial analysis of residential greenhouse gas emissions in the Toronto census metropolitan area", *Journal of Industrial ecology*, 11(2): 133-144.
 135. van Raaij, W. F., and Verhallen, T. M. M.(1983), "A behavioural model of residential energy use", *Journal of Economic Psychology*, 3(1): 39-63.
 136. Vine, D., Buys, L., and Morris, P.(2012), "The effectiveness of energy feedback for conservation and peak demand: A literature review", *Open Journal of Energy Efficiency*, 2(1): 7-15.
 137. Wei, Y. M., Liu, L. C., Fan, Y. and Wu, G.(2007), "The impact of

- lifestyle on energy use and CO₂ emission: an empirical analysis of China's residents", *Energy Policy*, 35: 247-257.
138. Wende, W., Huelsmann, W., Marty, M. Penn-Bressel, G. and Bobylev, M.(2010), "Climate protection and compact urban structures in spatial planning and local construction plans in Germany", *Land Use Policy*, 27(3): 864-868.
 139. Wilk, R.(2002). "Consumption, human needs, and global environmental change", *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 12(1): 5-13.
 140. Williams, J.(2007), "Innovative solutions for averting a potential resource crisis-the case of one-person households in England and Wales", *Environment, Development and Sustainability*, 9(3): 325-354.
 141. Wilson, C., and Dowlatabadi, H.(2007), "Models of decision-making and residential energy use", *Annual Review of Environment and Resources*, 32: 169-203.
 142. Young, W., and Middlemiss, L.(2012), "A rethink of how policy and social approach changing individual's actions on greenhouse gas emissions", *Energy Policy*, 41: 742-747.
 143. Yu, B., Zhang, J., and Fujiwara, A.(2013), "Evaluating the direct and indirect rebound effects in household energy consumption behavior: A case study of Beijing", *Energy Policy*, 2013, (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.024i>).
 144. Yun, G. Y., and Steemers, K.(2011), "Behavioural, physical and socio-economic factors in household cooling energy consumption", *Applied Energy*, 88: 2191-2200.

부 록

[부록 1] 석유환산 계수 및 탄소배출 계수

연료	단위	순발열량 (kcal)	석유환산계수	탄소배출계수 (TonC/TOE)
원유	kg	10,100	1.01	0.829
휘발유	리터	7,400	0.74	0.783
실내등유	리터	8,200	0.82	0.812
보일러등류	리터	8,350	0.835	0.812
경유	리터	8,450	0.845	0.837
B-A유	리터	8,750	0.875	0.875
B-B유	리터	9,100	0.91	0.875
B-C유	리터	9,350	0.935	0.875
프로판	kg	11,050	1.105	0.713
부탄	kg	10,900	1.09	0.713
나프타	리터	7,450	0.745	0.829
용제	리터	7,350	0.735	0.783
항공유	리터	8,200	0.82	0.808
아스팔트	kg	8,350	0.835	0.912
윤활유	리터	8,650	0.865	0.829
석유코크	kg	7,850	0.785	1.140
부생연료 1호	리터	8,350	0.835	0.783
부생연료 2호	리터	9,200	0.92	
천연가스(LNG)	kg	11,750	1.175	0.637
도시가스(LNG)	Nm3	9,550	0.955	0.637
도시가스(LPG)	Nm3	13,800	1.38	0.713
국내무연탄	kg	4,600	0.46	1.100
수입무연탄	kg	6,400	0.64	1.100
유연탄(연료용)	kg	5,950	0.595	1.059
유연탄(원료용)	kg	6,750	0.675	1.059
아역청탄	kg	5,000	0.5	
코크스	kg	7,000	0.7	1.210
전력	kWh	860	0.086	

주1. 이산화탄소 배출량 산정을 위해 순발열량 사용

주2. 전력은 최종 에너지 사용 기준 발열량이며, 이산화탄소 배출계수는 전력거래소 2010년 사용단
기준 0.4714 CO₂eq/MWH 사용

자료: 에너지관리공단(<http://co2.kemco.or.kr>)

[부록 2] 에너지총조사 자료의 자가용 연비 산출 과정

자가용 구분		연간주행거리(km/대)	연간에너지 소비량(ℓ/대)
승용 일반형	1500cc미만	11,598	983.6
	2000cc미만	13,102	1,422.5
	2000cc이상	15,521	2,446.9
승용다목적형		17,648	1,847.7
합계		57,869	6,700.7
		연비(km/ℓ)	8.63

주. 연비는 연간주행거리 / 연간에너지 소비량

자료: 2010 에너지총조사(지식경제부, 2011)

[부록 3] 수도권과 비수도권 도시 간 도시특성 비교

(단위: kgCO₂/인)

		수도권	비수도권	평균차이검정
지역수		29	52	
도시특성 (단위)	순인구밀도(인/km ²)	18,420	9,051	-7.2***
	65세이상인구비율(%)	9.1	14.5	5.9***
	아파트 거주가구비율(%)	56.6	46.8	-3.5***
	1인당도로길이(m/인)	1.4	3.5	5.9***
	도시가스비중(%)	75.5	39.9	-7.4***

주. *, **, *** : 유의수준 0.05, 0.01에서 유의함

자료: 2011 시도별 통계연보, , 2010 인구주택총조사

[부록 4] 시·도별 도농통합시 현황

시도	도시명(52개 도시)
경기	평택시, 남양주시, 용인시, 파주시, 이천시, 안성시, 김포시, 화성시, 광주시, 양주시, 포천시
강원	춘천시, 원주시, 강릉시, 삼척시
충북	충주시, 제천시
충남	천안시, 공주시, 보령시, 아산시, 서산시, 논산시, 계룡시
전북	군산시, 익산시, 정읍시, 남원시, 김제시
전남	여수시, 순천시, 나주시, 광양시
경북	포항시, 경주시, 김천시, 안동시, 구미시 영주시, 영천시, 상주시, 문경시, 경산시
경남	진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 밀양시 거제시, 양산시, 통합창원시
제주	제주특별자치도

주. 도농통합시는 행정구역 내 읍이나 면이 있는 도시를 의미함

[부록 5] 일반시와 도농통합시 도시 간 도시특성 비교

(단위: kgCO₂/인)

		일반시	도농통합시	평균차이검정
도시 수		29	52	
도시특성 (단위)	순인구밀도(인/km ²)	17,103	9,785	5.03***
	65세이상인구비율(%)	9.3	14.4	-5.44***
	아파트거주가구비율(%)	55.7	47.3	3.26***
	1인당도로길이(m/인)	1.4	3.5	-5.94***
	도시가스비중(%)	74.5	40.5	6.17***

주. *, **, *** : 유의수준 0.05, 0.01에서 유의함
자료: 2011 시도별 통계연보, 2010 인구주택총조사

[부록 6] 에너지 소비요인 변수의 산출식 및 자료 출처

변수	설명	단위	자료출처
순인구밀도	총인구수 /도시지역면적	인/km ²	시군 통계연보
신규주택비율	2005년 이후 주택 비율	%	2010년 인구주택총조사
아파트 거주 비율	아파트에 거주하는 가구의 비율	%	2010년 인구주택총조사
재정자립도		%	시군 통계연보
고령인구 비율	65세 이상 인구 비율	%	2010년 인구주택총조사
1인 가구 비율	총 가구 중 1인 가구 비율	%	2010년 인구주택총조사
승용차 보유대수	가구 당 승용차 보유대수	대/가구	2010년 인구주택총조사
승용차 이용횟수	1인 1일 승용차 이용횟수	회/인	2010년 인구주택총조사
1인당 도로 길이		m/인	시군 통계연보
대중교통 공급 수준	인구 천명당 대중교통종사자수	인/천인	2010년 전국사업체조사

[부록 7] 도시 밀도의 측정 지표 간 상관관계

	인구밀도	가구밀도	주택밀도	사업체밀도	종사자밀도
인구밀도	1				
가구밀도	.978***	1			
주택밀도	.834***	.868***	1		
사업체밀도	.922***	.915***	.777***	1	
종사자밀도	.901***	.859***	.755***	.918***	1

주1. 인구, 가구, 사업체, 종사자밀도는 도시별 인구, 가구, 사업체, 종사자를 시
가화면적(용도지역 중 주거, 상업, 공업지역 면적의 합계)으로 나누어 측정

주2. 주택밀도는 총주택수를 주거지역 면적으로 나누어 측정

*** : 상관계수가 0.01 수준에서 유의함

[부록 8] 에너지 소비요인 간 상관관계

	인구밀도	신규주택 비율	아파트 거주비율	재정 자립도	65세이상 비율	1인가구 비율	도로길이	대중교통종 사자수
인구밀도	1							
신규주택 비율	.036	1						
아파트 거주비율	.257**	.578***	1					
재정 자립도	.618***	.383***	.500***	1				
65세이상 비율	-.473***	-.448***	-.772***	-.767***	1			
1인가구 비율	-.527***	-.485***	-.668***	-.603***	.641***	1		
도로길이	-.583***	-.275**	-.492***	-.691***	.659***	.515***	1	
대중교통 종사자수	.385***	.183	.275**	.403***	-.351***	-.327***	-.410***	1

[부록 9] 주거에너지 소비지표 및 소비요인

에너지 소비	연구	소비요인	분석 모형
총소비량	김태현외 (2011)	- 인구밀도(순인구밀도), 가구 소득	PA
	노승철 이희연 (2013)	- 소득(1인당 지방세) - 가구특성(65세이상인구비중, 평균가구원수, 여성경제활동참가율) - 소비패턴(음식숙박지출비중) - 물리적 환경(순인구밀도, 아파트비율) - 등유가격	PM
	배민호외 (2008)	- 외피(창호시스템, 이중외피시스템, 차양장치, 구조체단열) - 조명관련(조명제어시스템) - 건축자재(건축재료, 생태건축, 환경비용) - 제어관련(건물자동제어) - 플랜트 관련(태양열에너지, 지중열시스템, 열병합시스템, 바닥냉난방) - 공조기기/시스템관련(공조시스템, 외기냉각)	LR
	임기추 강운영 (2004)	- 주택면적, 소득, 연령, 가구원수, 취업주부 - 생활양식(정보화, 고령화, 여성의 사회진출, 여가의 증대, 위생 지향, 개인주의화, 에너지절약 촉진)	DA SA
	Fong et al., (2007)	- 성별(남성), 연령 - 직업(자영업, 근로자, 은퇴자) - 인구규모(대도시, 중소도시, 농촌)	DA
	Glaeser et al., (2010)	- 소득, 인구수, 도심 고용 집중도 - 1월 평균 기온, 7월 평균 기온, 부동산 규제	OLS
	Guerin et al., (2000)	- 성별(남성), 소득, 주택 소유, 교육수준, 가구원수, 장애인 - 주택면적, 주택 거주 시간, 가전 기기 보유수 - 에너지 절약의식, 건강 의식, 정보 획득	LR
	Nugroho et al., (2006)	- 사회·경제적 속성(연령, 교육수준, 소득, 가구원수, 가구 구성) - 주택 특성(주택 면적, 주택 유형, 건축 방식) - 기기 보유(냉장고, 에어컨, 전기기기)	SEM
	O'neil and Chen (2002)	- 연령, 소득 - 가구 구성(가구원수, 가구원 중 성인의 수)	DA

주1. 밑줄이 그어진 요인은 에너지 소비량을 감소시키는 요인임

주2. PA: 패널 분석, SA: 시뮬레이션 분석, ECM: 오차수정모형, LR: 문헌연구, DA: 기술통계, AV: 분산분석, SEM: 구조방정식

[부록 10] 주거에너지 소비지표 및 소비요인(계속)

에너지 소비	연구	소비요인	분석 모형
난방 에너지	송승영 이수진 (2008)	- <u>창 및 문의 단열성능</u> - 외기에 의한 출입문 열관류율	SA
	Ewing and Rong (2008)	- 주택 면적, 주택유형(공동주택), 건축연도 - 가구 구성(성인의 수), 가구 소득, <u>에너지 가격</u> , 난방도일 - 도시형태(스프롤)	OLS
	Steemers and Yun (2009)	- 가구 특성(소득, 가구원수, 연령) - 주택 특성(면적, 창문수, <u>신규주택</u> , 공동주택, 방수) - 에너지 소비 행태(난방 기기수, 난방 설정온도) - 난방도일	PA
전력	김유란외 (2011)	- 남편직업(직장인, 자영업, 운수업) - 아내 직업(전업주부, 취업주부) - 자녀(미취학아동, <u>고등학생</u> , 대학생, <u>대학원생</u> , 직장인)	DA
	원두환 (2012)	- <u>고령화지수</u> , 소득(1인당 실질국민소득) - <u>가정용 전력 가격</u>	ECM
	Yun and Steemers (2011)	- 가구 특성(소득, 가구원수, <u>연령</u>) - 주택 특성(면적, <u>공동주택</u> , 방수) - 에너지 소비 행태(냉방 기기수, 기기 사용횟수) - 냉방도일	PA
	강창덕 (2011)	- 인구및고용특성(<u>인구밀도</u> , 고용밀도) - 소득및생산성 특성(<u>주거용토지가격</u> , 상업업무용토지가격) - 부동산개발특성(주거용 건물면적, 상업업무용 건물면적, 산업용 건물면적)	SAR
에너지 절약 행동 또는 의식	오세진외 (2001)	- <u>환경과 에너지에 대한 염려</u> - <u>에너지 일반지식</u> , 환경적 이슈, 행위전략에 대한 지식 - 성격요인(책임감, 내적통제)	SEM
	이윤재외 (2011)	- <u>연령</u> , 교육수준, 소득 - 생애주기(미혼, 유아청소년기, 청년기, <u>노부부</u>)	DA
	임기추 (2008)	- 성별(여성), 연령, 소득, 학력(대졸여부) - 부인취업여부, 2인 부부, 3인이상 가정 - 수도권거주여부, <u>아파트 거주여부</u> , 주거면적	AV OLS

주1. 밑줄이 그어진 요인은 에너지 소비량을 감소시키는 요인임

주2. PM: 패널 분석, SA: 시물레이션 분석, ECM: 오차수정모형, LR: 문헌연구, DA: 기술통계,

AV: 분산분석, PA:경로분석, SAR: 공간계량경제모형

[부록 11] 자가용에너지 소비지표 및 소비요인

에너지 소비	연구	소비요인	분석 모형
통행 발생량	서민호 김세용 (2011)	- 밀도(인구밀도, 공동주택 거주비율) - 다양성(직주혼합도, 산업혼합도), 공간계획(도로율)	OLS
	Lin and Yang (2009)	- 경제적요인(소득, 자동차보유대수) - 밀도(건물밀도, 고용밀도), - 다양성(직주혼합도, 주택-소매업비율) - 도로특성(도로밀도, 도로네트워크)	SEM
자가용 이용률	김민주외 (2010)	- 통행거리 - 도착지 토지이용(토지이용복합도, <u>문화시설비율</u> , <u>도로면적</u>), 사회·경제적변인(다가구/다세대비율)	Logit
	서민호 김세용 (2011)	- 밀도(인구밀도, 공동주택 거주비율) - 다양성(직주혼합도), 공간계획(도로율)	OLS
	성현곤 추상호 (2010)	- 밀도(인구밀도, <u>고용밀도</u>),복합성(직주균형지수, 산업복합도) - 접근성(버스정류장밀도, 철도역밀도) - 도시설계(도로밀도, 교차로밀도, 4지교차로비율, <u>막다른 골목 밀도</u>), 마을속성(인천, 경기, 읍단위)	OLS
	신상영 (2004)	- 출발지속성(지하철까지거리, 고용접근도, 강남지역) - 목적지속성(상업/업무면적비율, 버스노선수, 고용접근도, 지하 철역까지거리) - 통행소요시간, 통행시간대, 통행연계연부 - 성별, 가구주여부, 소득, <u>가구원수</u> , 아파트 거주가구	Logit
	이경환 (2010)	- 나이, 남성, 교육수준, 결혼여부, 사무직, 자동차 보급률 - 도로밀도, <u>간선도로율</u> , <u>버스정류장밀도</u> , <u>지하철유무</u> - 인구밀도, <u>직주균형비</u>	RIL
	Cervero (1996)	- 토지이용(<u>공동주택비율</u> , <u>소매업접근성</u>) - 인구밀도, 통근거리, 대중교통접근성	Logit
	Grazi et al., (2008)	- 가구특성(인구밀도, <u>맞벌이 가구</u>) - 개인속성(남성, 독일국적, 연령, 교육수준, 소득, 근로시간)	Probit
	Mindali et al., (2004)	- 소득, 교육수준, 자동차보유, 가구형태(<u>가구원중 취업자수</u>), 주거환경(대도시, 교외지역, 뉴타운)	Logit
	Wei et al., (2007)	- 경제적요인(소득, 자동차보유대수) - 밀도(건물밀도, <u>고용밀도</u>), <u>다양성</u> (직주혼합도, 주택-소매업비 율), 도로특성(도로밀도, 도로네트워크)	SEM

주1. 밀출이 그어진 요인은 에너지 소비량을 감소시키는 요인임

주2. SEM: 구조방정식, OLS: 선형회귀분석, Logit: 로짓모형, RIL: 임의절편 로짓모형, Probit: 프로빗 모형

[부록 12] 자가용에너지 소비지표 및 소비요인(계속)

에너지 소비	연구	소비요인	분석 모형
주행 거리	Cervero and Murakami (2010)	- 통행특성(자가용이용률), 교통시설 공급(도로밀도) - 도시환경 변수(인구밀도, 소매업 접근도) - 도시지역 특성(소득, 도시화율)	SEM
	Esposito Vinzi et al. (2010)	- 밀도(인구밀도, 가구밀도, 고용밀도) - 다양성(토지이용 혼합, 직주 균형) - 도시디자인(교차로밀도, 4지교차로비율) - 도착지 접근성(자동차 접근성, 대중교통접근성, 도심까지 거리) - 대중교통까지 거리	MA
	노승철 이희연 (2013)	- 소득(1인당 지방세 부담액) - 가구특성(65세이상 인구비중, 평균가구원수) - 소비패턴(음식숙박비 지출비중, 자가용보유대수) - 물리적환경(순인구밀도, 대중교통종사자수, 휘발유가격)	PM
	Liu and Shen (2011)	- 도시형태(인구밀도), - 사회인구학적 특성(여성, 자동차보유대수)	SEM
	van de Coevering et al. (2006)	- 도시형태(순인구밀도, CBD 고용집중도) - 사회·경제적 특성(취업률)	OLS
휘발유 소비량	김리영 서원석 (2011)	- 압축이용(공동주택 주거비율) - 혼합수준(토지이용 용도의 혼합) - 교통·문화시설(승용차분담률, 내부통행비용) - 경제수준(재정자주도)	OLS
	김승남외 (2009)	- 경제수준(부동산 보유세, 재산세) - 밀도(인구밀도, 고용밀도, 시가지인구밀도, 시가지 고용밀도), 단핵분산(다핵화 도시 더미) - 대중교통(버스노선수, 버스정류장수, 지하철유무, 대중교통 수송 분담율)	SEM
	남창우 권오서 (2005)	- 도시규모(총인구수), 도시밀도(인구밀도) - 도로밀도(도로밀도), 집중분산도(인구지니계수)	OLS
	송기욱 남진 (2009)	- 도시형태(압축성), 밀도(고용밀도) - 토지이용(혼합토지이용률, 직주근접비, 공동주택비율) - 기반시설(1인당 공원면적, 기반시설공급량) - 산업경제(3차산업비율, 1인당승용차대수, 1인당지방세납부액) - 도시관리능력(재정자립도)	OLS

주1. 밀줄이 그어진 요인은 에너지 소비량을 감소시키는 요인임

주2. SEM: 구조방정식, OLS: 선형회귀분석, Logit: 로짓모형, RIL: 임의절편 로짓모형, Probit: 프로빗 모형, MA: 메타분석, PM: 패널 모형

Abstract

Analysis of Factors Affecting Energy Consumption and CO₂ Emissions Structure in Household Sector

Noh, Seung Chul

Department of Environmental Planning

The Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

It is commonly acknowledged that most anthropogenic GHGs(Green-House Gas) are emitted during production of energy and many disciplines have been investigating on this topic for years to reduce energy consumption. Various researchers paid attention to household sector, in particular. Because it presents a simplified mechanism of energy consumption in comparison to commercial, industrial and transportation sectors. Furthermore, any changes in consumption of energy in household sector can show results in shorter span of time than other sectors.

The purpose of this study is to determine various factors that affect energy consumption per capita and analyze CO₂ emissions structure in household sector. For the purpose, household energy consumption is separated into three areas: -oil and city-gas, electricity, and private cars.

This paper empirically examines the effects of 5 different factors on household energy consumption and CO₂ emissions in 81 cities.: household characteristics(income level, age, single-person household), housing characteristics(housing type and year built), transport infrastructure(road density, public transportation), Urban characteristics(type and form) and urban compactness(population density). The results of PLS-SEM show that all the factors affect residential and transportation energy consumption and energy source both directly and indirectly.

People living in new residential houses and apartments consume less oil and city-gas than that those who live in older or detached houses. Also, high income households use less oil and city-gas than low-income households, although the latter use more electricity and private cars. On the contrary, aged people and single-person households use more oil and city-gas and less electricity and private cars. It shows that while oil and city-gas consumptions for heating are affected by housing performance more than household characteristics, electricity and private car-use depend on household consumption behavior. Also transportation infrastructure, especially public transportation, can reduce energy consumption by private cars.

Unlike the aforementioned three factors, urban characteristics and compactness indirectly affect on both residential and transportation energy consumption by influencing household characteristics and housing characteristics significantly. In particular, as population density increases, oil and city-gas consumption and private car use decrease but electricity consumption increases.

The implications for reducing CO₂ emissions resulting from

energy consumption in urban household sector are as follow. First, to reduce residential energy consumption and CO₂ emissions, a house improvement and supplying low-carbon energy such as city-gas are important. Heating energy consumption which occupy most of residential energy consumption depend greatly on energy-efficiency in a house. And as city-gas is more efficient low-carbon fuel than oil, households using the former can reduce emissions even if they consume equal amount of energy.

Secondly, policy makers need to consider socio-economical and demographic attributes of a city to make efficient energy policies. Because household attributes such as income, age and household size are closely related to household energy consumption behaviors, differences in these attributes to noticeable changes in energy consumption between households and cities.

Thirdly, an integrated and structural approach is important to researches about energy consumption and CO₂emissions. Household energy consumptions are affected by various factors from different scales and dimensions. Moreover, these factors are interrelated. Consequently, to recognize direct and indirect affects of each factor on household energy consumption and CO₂ emissions, It is necessary to take a integrated and structural approach that can explore and interpret relationships between factors.

Keywords : household sector, energy consumption, CO₂ emissions structure, SEM, PLS

Student Number : 2009-31162